corso di RADIOTECNICA

pubblicazione settimanale - 17 - 24 giugno 1961 - un fascicolo lire 150 38° numero

corso di
RADIOTECNICA

settimanale a carattere culturale

Direzione, Amministrazione, Pubblicità:
Via dei Pellegrini 8/4 - Telef. 593.478
MILANO

Ogni fascicolo — contenente 3 lezioni — costa lire 150, acquistato alle edicole.

Se l'edicola risulta sprovvista, o si teme di rimanere privi di qualche numero, si chieda invio settimanale direttamente al proprio domicilio a mezzo abbonamento.

Il versamento per ricevere i 52 fascicoli costituenti l'intero Corso è di lire 6500 + I.G.E. = lire 6630. A mezzo vaglia postale, assegno bancario, o versamento sul conto corr. postale 3/41.203 del « Corso di RADIOTECNICA » - Via dei Pellegrini 8-4 - Milano.
In ogni caso, scrivere in modo molto chiaro e completo il proprio indirizzo.

L'abbonamento può essere effettuato in qualsiasi momento; si intende comprensivo delle lezioni pubblicate e dà diritto a ricevere tali lezioni, che saranno inviate con unica spedizione.

Estero: abbonamento al Corso, Lit. 8.500. ($ 15). Numeri singoli Lit. 300 ($ 0,50).

Per i cambi di indirizzo durante lo svolgimento del Corso, unire lire 100, citando sempre il vecchio indirizzo.

Fascicoli singoli arretrati — se disponibili — possono essere ordinati a lire 300 cadauno.
Non si spedisce contrassegno.

Distribuzione alle edicole di tutta Italia: Diffus. Milanese . Via Soperga, 57 - Milano.

Direttore responsabile: Giulio Borgogno.

Autorizzaz. N. 5357 - Tribunale di Milano.

Stampa: Intergrafica S.r.l. - Cologno Monzese.

La Direzione non rivende materiale radio; essa può comunicare, se richiesta, indirizzi di Fabbricanti, Importatori, Grossisti ecc. in grado di fornire il necessario ed ai quali il lettore può rivolgersi direttamente.

Alla corrispondenza con richiesta di informazioni ecc. si prega allegare sempre il **francobollo per la risposta**.

Parte del testo e delle illustrazioni è dovuta alla collaborazione del Bureau of Naval Personnel, nonchè al Dept. of the Army and the Air Force - U.S.A.

A chi può essere utile questo Corso? Anzitutto — stante la sua impostazione — il Corso, basato sull'esposizione in forma a tutti accessibile, della radiotecnica, dai suoi elementi basilari alla evoluzione più recente, rappresenta la forma ideale per tutti coloro che intendono dedicarsi all'elettronica, sia come forma ricreativa sia — soprattutto — per l'acquisizione di una professione specializzata che possa procurare loro una posizione di privilegio in seno alla società odierna.

Anno per anno, la nostra civiltà si indirizza sempre più verso questa meravigliosa, si potrebbe dire fascinosa, elettronica, che nel modo più evidente consente sviluppi impensati, progressi grandiosi e una rapida evoluzione di tutti gli altri rami dello scibile che essa tocca e influenza.

L'industria, tutta l'industria, nel senso più ampio, da quella elettrotecnica a quella meccanica, alla metallurgica, alla chimica ecc., con i suoi laboratori di ricerca e le sue fabbriche richiede, e richiederà sempre più, con un ritmo rapidamente crescente, tecnici specializzati con conoscenza dell'elettronica, tecnici specificatamente elettronici e persino operai e impiegati di ogni ordine e categoria con cognizioni di elettronica.

Si può dire che anche le branche commerciali, quelle dei trasporti e persino quelle amministrative con le recenti introduzioni delle calcolatrici, abbisognano di personale che conosca i principi dell'elettronica, le macchine relative, il loro pieno sfruttamento, la eventuale riparazione ecc. e, quanto più in modo completo, quanto meglio.

Nasce, da una tale situazione, una logica conseguenza: per la scelta di una professione o di un mestiere, per un miglioramento della propria posizione sociale, per l'intrapresa di una libera attività o anche per la sola acquisizione di cognizioni che indubbiamente verranno oltremodo utili, è quanto mai opportuno riflettere se non sia conveniente dedicare un po' di tempo allo studio di questa scienza che ha tra l'altro il pregio di rendersi immediatamente attraente, concreta, accessibile e foriera di moltissime soddisfazioni.

A questo scopo appunto, e con questi intenti, è stato redatto questo Corso.

Non mancano invero altri corsi (specie per corrispondenza) o scuole di radiotecnica, nè mancano (sebbene siano in numero del tutto inadeguato) scuole statali o pareggiate ma la struttura e l'impostazione che caratterizzano queste 156 lezioni sono alquanto particolari, presentando non pochi vantaggi sulle diverse altre forme di cui si è detto.

Anzitutto vogliamo porre in evidenza **il fattore economico.**

Frequentare regolarmente, durante tutto l'anno, una scuola è certo il modo più logico — anche se non il più rapido — per apprendere ma, tralasciando il fatto che rarissimi sono gli Istituti di radiotecnica, è a tutti possibile dedicarsi esclusivamente, e per l'intero anno, allo studio? Noi riteniamo che chi può farlo costituisca oggi assai più l'eccezione che la regola. Ciò significa infatti poter disporre liberamente del proprio tempo senza avere la necessità di un contemporaneo guadagno: il nostro Corso permette a chiunque di studiare a casa propria, nelle ore libere dal lavoro, senza abbandonare o trascurare quest'ultimo. Ciò caratterizza invero anche altri corsi, ma il vantaggio economico diviene notevole ed evidentissimo se si considera che di fronte all'esborso, anche se rateale, di quasi 80.000 lire che i corsi per corrispondenza richiedono, seguendo il nostro Corso la spesa in un anno risulta di poco più di 7500 lire (150 lire alla settimana presso un'edicola) o di 6630 lire totali, con recapito postale, settimanale, delle lezioni a domicilio.

E' superfluo dire che la Modulazione di Frequenza, i transistori, i circuiti stampati, la trasmissione, il telecomando ecc. sono argomenti integrali del Corso e non costituiscono motivo di corsi speciali, aggiunti o particolari.

Le lezioni di questo Corso — a differenza di molte altre — non sono stampate con sistemi di dispensa, a ciclostile, o con sistemi più o meno analoghi, derivanti cioè da un originale battuto a macchina da scrivere; esse sono stampate in uno stabilimento grafico, con chiari caratteri tipografici da cui deriva una assai più agevole lettura e — fattore certamente di non secondaria importanza — un contenuto molto più ampio, corrispondendo una pagina a stampa a tre o quattro pagine di quelle citate. Il lettore avrà, alla fine del Corso, un volume di ben 1248 pagine di grande formato!

Chiunque, indipendentemente dall'età, dalla professione e dalle scuole compiute **può seguire il Corso.** Alle esposizioni teoriche si abbinano numerose, attraenti, istruttive ed utili descrizioni che consentono la realizzazione di ricevitori, amplificatori, strumenti vari e persino di trasmittenti su onde corte.

A questo proposito è sintomatico il fatto che la Direzione non vuole assolutamente assumere la fisionomia di un fornitore o commerciante di materiale radio, rivendendo agli allievi le parti necessarie. Il materiale occorrente l'interessato può acquistarlo dove e come meglio crede e, assai spesso anzi, già ne dispone. Viene così evitato l'acquisto forzoso, caratteristico più o meno di tutti gli altri corsi.

Anche chi è già radiotecnico, anche chi ha seguito o segue altri corsi troverà il massimo tornaconto in questo completo ed aggiornato lavoro. Molte nozioni, è logico, saranno note, altre un po' meno e sarà utile rinfrescarle, e il tutto infine costituirà un manuale di consultazione, prezioso tanto per la teoria esposta quanto per i numerosi schemi, per le tabelle, per i grafici, gli elenchi, i dati, il vocabolario dei termini ecc.

Concludendo, si può affermare che questo **Corso di Radiotecnica** oltre che come insegnamento graduale si presenta come **enciclopedia e rivista assieme** ciò che permette di formare — con modestissima spesa — **il più completo, ricco, utile e pratico volume di radiotecnica di cui sia dato oggigiorno disporre.**

ACUSTICA

Riassumendo i concetti enunciati all'inizio di questo Corso, ricordiamo che le onde sonore non sono altro che il susseguirsi di compressioni e rarefazioni della struttura molecolare attraverso la quale il suono si propaga. In altre parole, ricorrendo alla rappresentazione grafica di **figura 1**, si può affermare che, considerando le alternanze positive come fasi di compressione, e quelle negative come fasi di rarefazione, il suono si propaga all'esterno della sorgente che lo ha prodotto in seguito ai successivi avvicinamenti od allontanamenti delle molecole costituenti il mezzo di propagazione.

Prima di addentrarci nello studio più particolareggiato dell'amplificazione a Bassa Frequenza così detta « d'alta fedeltà », è opportuno dedicare alcune pagine alla fisica dei suoni, alla loro propagazione, ed alla maggior parte dei fenomeni ad essi concatenati. Questo breve studio rivelerà appunto la sua grande utilità quando esamineremo i principi dell'alta fedeltà, in lezioni che costituiscono un logico completamento di quelle dedicate all'elettroacustica.

CARATTERISTICHE di un SUONO

Allorchè ci siamo occupati delle forme d'onda non sinusoidali, (pagina 722), abbiamo visto, per sommi capi, come un suono possa essere diverso da un altro, pur avendo la medesima frequenza. Vediamo ora, con maggiori dettagli, quali sono le caratteristiche che consentono l'analisi qualitativa e quantitativa dei suoni.

Frequenza e timbro

Prendiamo ad esempio il « DO » col quale inizia la sesta ottava della tastiera di un pianoforte. La sua frequenza è all'incirca di 1.024 Hz. La medesima nota, ossia una nota avente la medesima frequenza fondamentale, può essere prodotta dalla voce umana di un soprano, da una viola, da un violino, da un clarinetto, da un oboe, da un flauto o ancora da un ottavino .Un ascoltatore che abbia una certa pratica di strumenti musicali, udendo tale nota senza avere la possibilità di osservare direttamente la sorgente che la produce, è certamente in grado di riconoscere lo strumento, unicamente grazie al diverso timbro che caratterizza la nota, dovuto — come ben sappiamo — alle armoniche.

Analogamente, due persone appartenenti al medesimo sesso, ed aventi una voce normale, possono far vibrare le loro corde vocali in modo da produrre il medesimo suono: anche in questo caso, un individuo che li abbia uditi parlare o cantare precedentemente e separatamente, è in grado di distinguere e di riconoscere le loro voci, sempre a causa del diverso contenuto di armoniche che caratterizza il timbro della voce.

Questa caratteristica importantissima dei suoni è alla base della musica, in quanto è proprio la diversità di timbro dei diversi strumenti che ha consentito la creazione dei complessi orchestrali, piccoli o grandi che siano, nei quali si provoca volutamente un impasto di suoni diversi, concordanti tra loro in frequenza ed ampiezza secondo le leggi di armonia, tali da dare sensazioni uditive il più possibile gradevoli all'orecchio.

Se consideriamo la rappresentazione di un'onda sonora pura, come quella di **figura 2-A**, e quella di una onda complessa avente la medesima frequenza fondamentale, come quella di figura 2-**B**, appare evidente che, pur essendo della medesima frequenza, la sensazione avvertita dall'ascoltatore non può essere la medesima.

Tutto ciò permette al lettore di rendersi conto di quanto difficile sia la perfetta riproduzione di un suono complesso da parte di un dispositivo riproduttore, come ad esempio un altoparlante. La parte mobile, ossia il cono e la bobina ad esso solidale, deve avere caratteristiche tali da poter vibrare su tutte le frequenze contemporaneamente, apportando solo un minimo di alterazioni inevitabile. Infatti, per quanto oggi si sia riusciti ad ottenere le cosiddette riproduzioni ad alta fedeltà, l'ascoltatore sarà sempre in grado di stabilire se l'esecuzione musicale che egli ascolta proviene da un'orchestra, oppure è riprodotta da un altoparlante.

Ampiezza

Una seconda caratteristica del suono, di importanza altrettanto rilevante, è l'ampiezza o intensità. Sappiamo tutti che un suono può essere più o meno forte, a seconda che la sorgente che lo produce venga sollecitata con maggiore o minore energia.

Per poter analizzare un suono in tutti i suoi dettagli, sono state stabilite unità di misura e di rapporto anche per quanto riguarda l'ampiezza, la quale può essere misurata sia in *decibel* che in *phon*, in *watt per* cm^2, in *erg al secondo*, o ancora in *bar*.

Nella nostra breve analisi del decibel, abbiamo appreso che, facendo subire ad un suono aumenti progressivi di intensità pari a 10, 100, 1.000, 10.000, ecc. (ossia secondo le potenze intere del numero 10, e cioè 10^1, 10^2, 10^3, 10^4, ecc.), la sensazione sonora

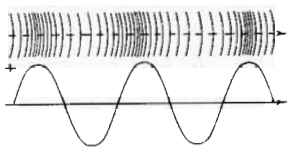



Fig. 1 - Un'onda sonora provoca successive compressioni e rarefazioni degli strati di molecole d'aria.

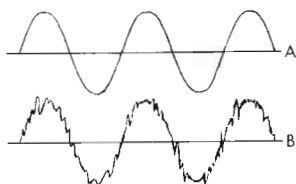
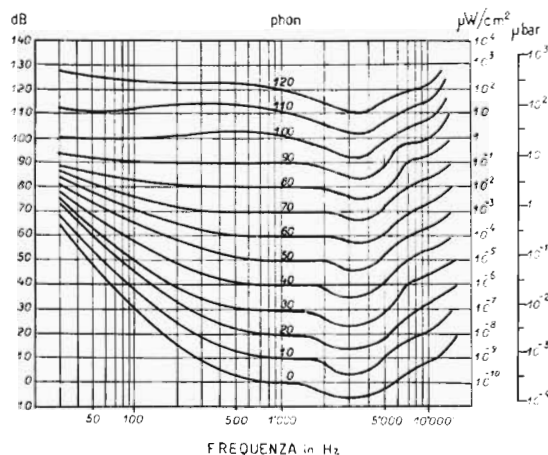



Fig. 2 - In A, onda perfettamente sinusoidale, in B un'onda della medesima frequenza ma con alto contenuto di suoni spuri che determinano il timbro.

Fig. 3 - Grafico delle curve isofoniche. Ciascuna curva rappresenta la sensazione sonora espressa in «phon» ad un dato livello, che, per la frequenza di 1.000 Hz corrisponde al livello in dB. Per le altre frequenze è facile notare la discordanza con i valori in dB.

che ci dà il nostro organo dell'udito segue la progressione naturale dei numeri 1, 2, 3, 4, ecc. Ciò significa che, prendendo come unità di sensazione sonora un suono avente una intensità effettiva pari a 10, per avere una sensazione di intensità doppia, il suono stesso deve aumentare di 10 volte, ossia deve diventare 100; per avere una sensazione di intensità tripla, il suono deve aumentare di 100 volte, assumendo il valore 1.000, e così via.

Abbiamo così enunciato la legge di Weber, secondo la quale l'intensità della **sensazione acustica aumenta con il logaritmo dell'intensità energetica.**

Per valutare l'intensità di un suono, si è stabilito un valore che costituisce l'unità di misura, corrispondente all'intensità minima che detto suono deve avere per poter essere percepito dall'orecchio umano normale. Questa intensità, detta *intensità di soglia* o — più comunemente — *soglia* (di udibilità), viene presa come livello « zero ».

Prendendo, ad esempio, una misura di rapporto, a noi già nota, il *bel*, si dice che la variazione del livello di un suono (in bel = L_B) è data dal logaritmo del rapporto tra il livello istantaneo, L_i, ed il livello di soglia, L_s, ossia:

$$L_B = \log_{10} \ (L_i : L_s)$$

riferito ad una frequenza di 1.000 Hz.

Come sappiamo, esprimendo il bel un rapporto troppo grande per poter avere una utilità pratica, si preferisce usare un sottomultiplo, ossia il *decibel*, pari ad un decimo di bel. Di conseguenza, la formula precedentemente citata diventa:

$$L_{dB} = 10 \ \log_{10} \ (L_i : L_s).$$

Questa formula consente di esprimere in dB una variazione di intensità sonora: infatti, se la sensazione acustica di un suono risulta essere pari a tre volte quella di soglia, il rapporto tra il livello istantaneo ed il livello di soglia, $L_i : L_s$ è pari a 3. Ne deriva che:

$L_{dB} = 10 \ \log 10 \ 3 = 10 \times 0{,}47712 = 4{,}7$ (circa).

In questo caso, la variazione indica un aumento di intensità, in quanto la sensazione è pari a quattro volte quella di soglia. Si ha quindi un aumento di + 4,7 dB. Ovviamente, se si deve esprimere un'attenuazione in luogo di un aumento, il valore in dB sarà negativo.

A volte, l'intensità del suono viene espressa in unità di pressione invece che in quantità energetica: in tal caso, poichè l'intensità varia proporzionalmente al quadrato della pressione (P), detta P_1 la pressione corrispondente al livello di soglia, e P_2 la pressione in un dato istante, l'espressione diventa:

$$L_{dB} = 10 \ \log_{10} \ [(P_2)^2 : (P_1)^2] = 20 \ \log_{10} \ (P_2 : P_1)$$

L'esperienza ha dimostrato che la minima differenza di livello sonoro che può essere percepita dall'orecchio umano ammonta all'incirca ad 1 dB. Ciò significa che se un suono viene portato da un livello di 50 dB ad un livello di 49 o di 51 dB, l'ascoltatore avverte rispettivamente una lieve diminuzione o un lieve aumento di intensità: per contro, se la variazione è — ad esempio — di 0,5 dB (49,5 o 50,5 dB), l'ascoltatore non avverte alcuna diversità nell'intensità del suono udito. Per questo motivo, in elettroacustica, non si usano — in genere — unità inferiori al decibel.

La pressione acustica viene normalmente espressa in « bar »: naturalmente, anche questa unità può essere espressa in funzione di altre, mediante semplici relazioni. Infatti, dalla tabellina che qui riportiamo è facile rilevare che 1 bar equivale ad una potenza acustica di 0,0242 « erg » al secondo, o ad una potenza acustica di 0,00242 μW per cm².

TABELLA 88 — EQUIVALENZA tra UNITA' di POTENZA ACUSTICA

Pressione acustica in bar	Potenza acustica in μW/cm²	Potenza acustica in erg/sec
0,0001 (1.000 μbar)	$2{,}42 \times 10^{-11}$	$2{,}42 \times 10^{-10}$
0,001 (10.000 μbar)	$2{,}42 \times 10^{-9}$	$2{,}42 \times 10^{-8}$
0,01	$2{,}42 \times 10^{-7}$	$2{,}42 \times 10^{-6}$
0,1	$2{,}42 \times 10^{-5}$	$2{,}42 \times 10^{-4}$
1,0	$2{,}42 \times 10^{-3}$	$2{,}42 \times 10^{-2}$
10,0	0,242	2,42
100,0	24,2	242,0
1.000,0	242,0	2.400,0
10.000,0	2.400	24.0000

La gamma delle intensità dei suoni percepibili dall'orecchio umano si estende da 0 dB (livello di soglia corrispondente a circa 0,001 bar) ad un massimo di 140 dB. Naturalmente, quest'ultimo livello supera la cosiddetta soglia del dolore, corrispondente ad una in-

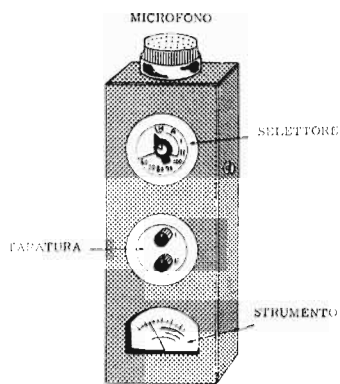



Fig. 4 - Esempio di fonometro portatile, alimentato con batterie incorporate; il microfono è elettrostatico

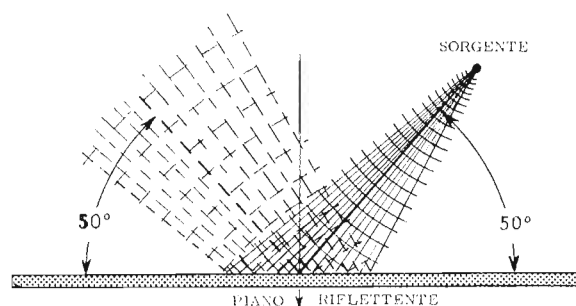



Fig. 5 - Riflessioni delle onde sonore incidenti, da parte di una superficie non assorbente. Come si nota, l'angolo di riflessione è identico a quello di incidenza. Ovviamente, se la superficie ha un certo coefficiente di assorbimento, non tutte le onde vengono riflesse.

tensità per la quale la sensazione acustica dà una vera e propria sensazione di dolore. Sia la soglia di udibilità che la soglia del dolore, hanno un valore che, comunque venga espresso, ossia in dB, bar, $\mu W/cm^2$ o erg/sec., varia col variare della frequenza. Per questo motivo, e per un altro che vedremo tra breve, non essendo possibile stabilire delle unità di misura fisiologiche con rigorosa esattezza, si è stabilita una frequenza di riferimento, corrispondente a 1.000 Hz, ai livelli della quale vengono paragonati o riferiti i livelli alle altre frequenze.

Se consideriamo il fatto che, a seconda della frequenza, due suoni della medesima intensità possono dare due diverse sensazioni sonore, appare evidente la necessità di stabilire una grandezza definita, in relazione alla sensibilità dell'orecchio umano ed alla diversa sensibilità col variare della frequenza.

Di qui è nata la definizione del « phon », che — praticamente — si identifica col decibel. L'unica differenza tra le due grandezze consiste nel fatto che, mentre il decibel esprime una variazione di intensità, il « phon » esprime una variazione di sensazione sonora.

Come si nota osservando la **figura 3**, i livelli in decibel ed in « phon » si equivalgono per la frequenza di riferimento di 1.000 Hz. Nei confronti delle altre frequenze — invece — mentre il decibel resta costante, i valori in « phon » seguono la caratteristica dell'orecchio umano normale.

La figura chiarisce inoltre l'equivalenza che sussiste tra i due valori citati, ed i valori corrispondenti di potenza in $\mu W/cm^2$ e di pressione sonora in μbar.

Una volta stabilite le unità ed i riferimenti necessari per esprimere l'intensità di un suono, è stato possibile creare strumenti adatti ad effettuarne la misura. Lo strumento mediante il quale è possibile valutare con una certa esattezza il livello di un suono viene per l'appunto denominato « fonometro ».

In linea di massima, un fonometro consiste semplicemente in un microfono tarato, collegato all'ingresso di un amplificatore anch'esso avente determinate caratteristiche. All'uscita di detto amplificatore è connesso un rettificatore (generalmente a ponte), avente come carico la bobina mobile di uno strumento di misura con scala tarata direttamente in decibel o in « phon ». La **figura 4** ne illustra un esemplare di tipo portatile.

Il microfono (generalmente del tipo elettrostatico), deve avere una curva di responso alla frequenza lineare su un'ampia gamma, e precisamente su tutta la gamma delle frequenze che si desidera misurare. L'amplificatore è corredato di un attenuatore, anch'esso tarato in decibel, che consente di stabilire a priori la portata a fondo scala dello strumento. Per effettuare la misura, è sufficiente mettere in funzione il fonometro ad una determinata distanza dalla sorgente sonora, e, dopo aver regolato l'attenuatore fino ad avere un'indicazione in prossimità del fondo scala dello strumento, si effettua la lettura, apportando al valore letto la correzione data dalla posizione dell'attenuatore.

Gli strumenti più semplici adatti alla misura della intensità dei suoni consentono le letture senza alcuna discriminazione di frequenza, ossia misurano il livello sonoro globale di tutti i suoni percepibili nel punto in cui viene compiuta la misura. I più complessi sono invece muniti di speciali filtri, atti ad eliminare (all'uscita del microfono o in uno stadio intermedio dell'amplificatore) le frequenze di cui non si desidera misurare il livello. In tal modo è possibile effettuare misure molto precise, anche di suoni complessi.

Tipiche applicazioni del fonometro sono la misura del livello sonoro ambientale nelle officine, il controllo della rumorosità dei motori a scoppio, il controllo dell'acustica dei locali pubblici, ecc.

Propagazione

Se si suppone che il suono parta da un punto determinato, e che la sorgente sonora abbia dimensioni talmente ridotte da poter essere identificata col punto stesso, si può affermare che il suono prodotto si propaga in direzione *sferica*, ossia in tutte le direzioni che uniscono il punto di partenza con i punti infiniti costituenti la superficie di una sfera immaginaria creata nello spazio intorno al punto stesso. Se il mezzo di propagazione è — ad esempio — l'aria, il suono può essere percepito a distanza in quanto, come sappiamo, ogni onda sonora comporta una serie di compressioni e di rarefazioni successive degli strati di molecole che riempiono lo spazio. Ogni strato che abbia subito una compressione o una rarefazione, provoca un fenomeno analogo nello strato successivo, e ciò costituisce appunto il fenomeno della propagazione del suono.

Ovviamente, questa forza fisica che viene esercitata

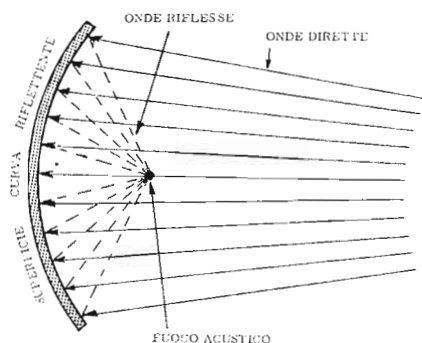



Fig. 6-A - Riflessione delle onde sonore da parte di una superficie riflettente concava. Il punto di provenienza delle onde si trova, in questo caso, sull'asse.

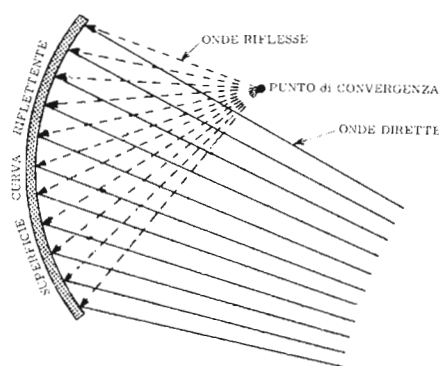



Fig. 6-B - Caso analogo al precedente; le onde provengono da un punto che non giace sull'asse della superficie riflettente. Si ha comunque un « fuoco ».

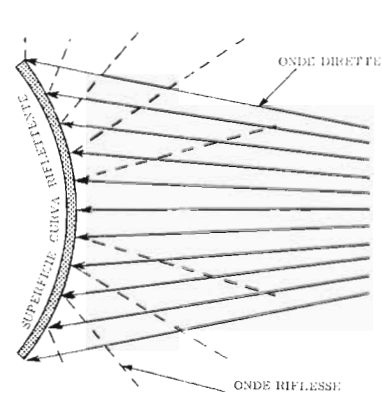



Fig. 6-C - Riflessione di onde sonore da parte di una superficie convessa.

sulla materia circostante alla sorgente sonora, anche se tale materia è di consistenza minima come è appunto l'aria, comporta un consumo di energia che, nel tempo, si risolve in una attenuazione dell'intensità del suono tanto maggiore quanto maggiore è la distanza alla quale il suono è arrivato. Si può quindi affermare che il suono prodotto da una sorgente si propaga nello spazio diminuendo progressivamente di intensità, fino alla completa estinzione. Si è visto in pratica, che l'attenuazione è direttamente proporzionale al quadrato della distanza.

La propagazione dei suoni è strettamente legata alla velocità di propagazione, la quale varia col variare delle caratteristiche fisiche del mezzo in cui essa ha luogo, ossia della sua consistenza e della relativa temperatura. In particolare, si è potuto constatare che detta velocità di propagazione è massima in alcuni metalli, media in altri metalli, nel legno e nei liquidi, e minima nei gas. A tale riguardo riportiamo una tabella, che consente di determinare la velocità approssimativa con la quale il suono si propaga in diverse sostanze, tenendo presente che le velocità enunciate, ed espresse in metri al secondo, sono riferite ad una temperatura di 20 °C.

TABELLA 89 — VELOCITA' del SUONO in MEZZI DIVERSI

MEZZO di PROPAGAZIONE	VELOCITA' in m/sec
Alluminio	5.100
Ferro	5.000
Ottone	3.500
Legno (in genere)	3.300
Acqua	1.490
Idrogeno	1.300
Aria	330

In realtà, anche quando la sorgente sonora non è identificabile con un punto, bensì ha le dimensioni — ad esempio — di una membrana vibrante, di una corda, o di una qualsiasi superficie in movimento, si può affermare che il suono prodotto si propaga in direzione sferica se il mezzo nel quale avviene la propagazione ha caratteristiche costanti in tutti i suoi punti. Se così non fosse, mettendo in funzione un altoparlante, sarebbe possibile udire i suoni da esso prodotti solo se l'ascoltatore si trova anteriormente alla membrana o — almeno — in un raggio limitato. Sappiamo invece che detti suoni sono percepibili in qualsiasi punto intorno ad una simile sorgente, sia pure con diversa intensità.

Un altro fenomeno relativo alla propagazione, è che, se si ascolta la riproduzione di un brano musicale, stando esattamente davanti all'altoparlante, e lo si ascolta successivamente stando — ad esempio — dietro all'apparecchio riproduttore, si rileva una notevole differenza nel timbro dei suoni percepiti. L'esperienza ha dimostrato che tale diversità di sensazione è dovuta al fatto che, mentre le frequenze basse vengono percepite in modo pressochè eguale indipendentemente dalla posizione, le frequenze acute — invece — vengono percepite meglio se udite direttamente davanti alla sorgente. Da ciò si può dedurre che la propagazione varia anche col variare della frequenza: in altre parole, le onde sonore sono tanto più direzionali, quanto più la loro frequenza è elevata.

Riflessione dei suoni — Consideriamo il punto di partenza di un fascio di onde sonore, e la loro propagazione in un determinato settore della sfera entro la quale esse si diramano in tutte le direzioni, così come illustrato alla **figura 5**.

Se intorno alla sorgente sonora esiste lo spazio libero, tranne che in una zona, costituita da un piano di materia solida, si ha un fenomeno di riflessione. In altre parole, quelle onde sonore che urtano contro la superficie del piano citato, vengono in parte assorbite dal piano stesso, ed in parte riflesse.

Come si nota osservando la figura, la riflessione avviene secondo un determinato angolo perfettamente eguale a quello di incidenza delle onde sonore originali. Precisiamo che, per angolo di incidenza, si intende l'angolo presente tra la retta che unisce il centro della sorgente sonora al centro della superficie riflettente, e la perpendicolare al piano riflettente passante per detto centro.

Ovviamente, se il piano sul quale le onde sonore urtano è costituito da materiale duro, di notevole spessore e perfettamente levigato, si può affermare che l'intensità del suono riflesso è pressochè eguale a quella del suono incidente. Viceversa, se la superficie del piano è costituita da materiale morbido, elastico, o poroso, la quantità di suono riflesso è notevolmente inferiore a quella del suono incidente, in conseguenza dell'assorbimento di energia sonora apportato dal pia-

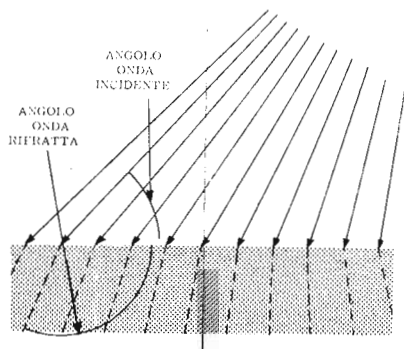



Fig. 7 - Rifrazione di onde sonore nel passaggio da un mezzo avente determinate caratteristiche, ad un altro (zona scura), avente caratteristiche diverse. L'angolo di rifrazione dipende dalla variazione di velocità del suono.

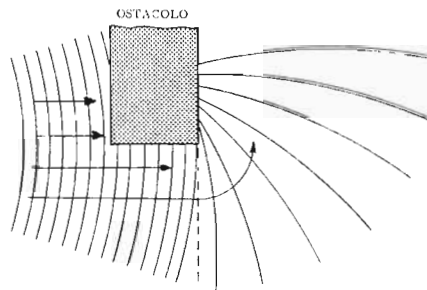



Fig. 8 - Se le onde sonore incontrano — nel loro percorso — un ostacolo qualsiasi, tendono a ruotare intorno ad esso mutando la direzione di propagazione in quel punto.

no. Per questo motivo, per correggere eventuali difetti di acustica negli ambienti in cui hanno luogo spettacoli (cinematografi, teatri, auditori, sale di registrazione, ecc.), vengono spesso adottati speciali pannelli costruiti con materiali riflettenti o assorbenti (a seconda delle necessità), che impediscono o provocano la propagazione dei suoni.

L'effetto delle superfici curve sulle onde sonore può essere, a ragion veduta, paragonata a quella degli specchi curvi nei confronti dei raggi di luce. Come si vede alle **figure 6-A**, **6-B** e **6-C**, è possibile far convergere le onde sonore di una sorgente in un determinato punto, detto *fuoco acustico*, oppure fare in modo che esse, dopo aver urtato contro la superficie riflettente, si propaghino divaricandosi, ossia distribuendosi su una superficie tanto più vasta quanto maggiore è la distanza.

Il fenomeno della riflessione delle onde sonore può essere constatato anche in un modo a tutti noto. Sappiamo che, se si produce un suono di intensità adeguata in uno spazio sufficientemente vasto, al termine del quale esista una superficie riflettente, si ottiene un'eco, grazie alla quale il suono originale viene percepito più di una volta.

Le esperienze effettuate in questo campo, hanno dimostrato che l'orecchio umano può percepire due suoni identici distinguendosi tra loro, purchè tra essi sussista un intervallo di almeno 1/15 di secondo.

Dalla tabellina relativa alla velocità del suono nei diversi mezzi, rileviamo che la velocità di propagazione nell'aria, alla temperatura di circa 20° C, è press'a poco di 330 metri al secondo. Ciò significa che, affinchè la sensazione sonora dell'onda riflessa giunga all'orecchio dell'ascoltatore con un intervallo sufficiente per essere percepita e distinta dal suono originale, la superficie riflettente deve essere alla distanza di circa 22 metri. Ovviamente, se la distanza è maggiore, l'eco può manifestarsi egualmente, con la sola differenza che la seconda sensazione avrà luogo dopo un intervallo di tempo maggiore.

Viceversa, se la distanza tra la sorgente sonora e la superficie riflettente è inferiore a 22 metri, il fenomeno dell'eco si verifica egualmente, senza però che lo ascoltatore lo percepisca, e ciò in quanto l'intervallo tra la sensazione diretta del suono, e quella provocata dal suono riflesso, è inferiore ad 1/15 di secondo.

Esistono casi, peraltro molto comuni, specie nelle vallate o in ambienti chiusi aventi determinate caratteristiche architettoniche, nei quali l'eco si manifesta più di una volta; ciò accade perchè le onde sonore emesse dalla sorgente urtano successivamente o su diversi piani riflettenti posti a diverse distanze, o sul medesimo piano per più di una volta. Naturalmente, perchè sia possibile percepire un'eco doppia o tripla, è sempre necessario che l'intervallo tra una sensazione e l'altra non sia inferiore al limite stabilito.

Negli ambienti chiusi, specie se di grandi dimensioni, si hanno spesso fenomeni del genere; a volte, inoltre, la distanza tra la sorgente e le superfici riflettenti è talmente prossima alla distanza critica, che, in luogo di una vera e propria eco, si ha la sensazione di un prolungamento dei suoni dopo che la sorgente ha cessato di emetterli (come nel caso tipico dell'organo udito nella chiesa). In tal caso il fenomeno assume il nome di riverberazione, e viene in certi casi sfruttato per creare volutamente speciali effetti acustici. La durata del suono percepito dopo la cessazione dell'onda diretta, viene chiamata « tempo di riverberazione », ed ha termine quando l'intensità del suono percepito è gradatamente diminuita, fino ad assumere un valore di 60 dB inferiore a quello di inizio.

Rifrazione dei suoni — Come accade per i raggi di luce che passano attraverso due sostanze diverse, o per le radioonde, anche i suoni, attraversando due zone aventi caratteristiche fisiche anche leggermente discordi, subiscono una rifrazione. La **figura 7** illustra questo fenomeno. In un dato punto, posto a notevole distanza, hanno origine le onde sonore. Data la distanza, si può dire che le onde sonore in arrivo abbiano un andamento piano; in altre parole, si può immaginare che gli strati di molecole messe in movimento dal suono giacciano su piani perpendicolari alla direzione di provenienza del suono stesso.

Se, durante il loro percorso, dette onde sonore passano da un zona contenente aria fredda, ad un'altra contenente — ad esempio — aria calda, subiscono una deviazione che è tanto maggior quanto maggiore è la differenza di temperatura.

In questo caso, prendendo come riferimento la retta perpendicolare al piano di rifrazione, l'angolo di incidenza non è eguale all'angolo di rifrazione: cono-

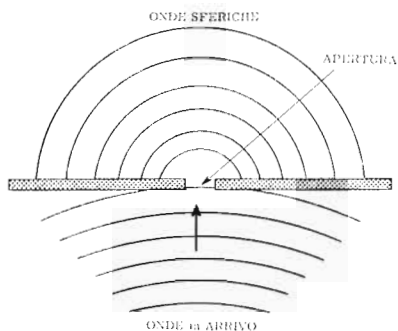



Fig. 9 - Allorchè le onde sonore incontrano una superficie nella quale è presente un foro di diametro piccolo rispetto alla lunghezza d'onda, si propagano al di là del foro con andamento sferico.

Fig. 10 - Esempio di risuonatore di Helmholtz. Se le onde sonore che passano in prossimità dell'apertura hanno una frequenza pari a quella di risonanza della massa d'aria contenuta nell'involucro, questo risuona con un conseguente effetto di amplificazione.

scendo però le caratteristiche di entrambi i mezzi di propagazione, e conoscendo quindi le velocità di propagazione relative, detta v_1 la velocità del suono diretto e v_2 la velocità del suono rifratto, si ha:

$$\frac{\text{seno dell'angolo di incidenza}}{\text{seno dell'angolo di rifrazione}} = \frac{v_1}{v_2}$$

dalla quale si può ricavare l'angolo di rifrazione mediante un semplice passaggio algebrico.

La riverberazione del suono, grazie all'effetto particolare che — in determinati casi — può dare al suono stesso che la produce una caratteristica gradevole, è stata sfruttata in questi ultimi anni nel campo della registrazione della musica. Ben pochi sono infatti coloro che non hanno avuto occasione di ascoltare un disco, nel quale la voce del cantante si stacca dal suono complesso dell'orchestra, in quanto è seguito da una coda sonora. In questi casi però, il fenomeno viene provocato artificialmente, mediante dispositivi elettronici che inviano all'ingresso dell'amplificatore di registrazione due segnali separati, di cui uno proveniente direttamente dal microfono riservato al cantante, ed uno da un secondo microfono, dopo aver subito un ritardo appositamente dosato.

Diffrazione dei suoni — Anche la diffrazione — come si è detto all'inizio — è un fenomeno comune alla propagazione della luce, delle onde radio, e dei suoni. Essa si manifesta in molti modi, a seconda della frequenza dell'onda sonora, e della forma dell'oggetto incontrato. In pratica, essa consiste nel fatto che, allorchè le onde sonore incontrano nel loro percorso un ostacolo, sia esso un piano, o un oggetto di forma qualsiasi, tendono a deviare intorno all'oggetto stesso, mutando direzione. La **figura 8** illustra il caso in cui l'ostacolo è costituito da un oggetto solido: come si nota, le onde sonore provenienti sotto forma di strati paralleli di aria in movimento, proseguono in direzione costante se non incontrano ostacoli, mentre ruotano intorno all'oggetto incontrato seguendone la forma, per poi proseguire sotto forma di strati curvi.

Un altro fenomeno caratteristico è illustrato alla **figura 9**, nella quale si nota che, se le onde sonore incontrano una superficie piana in cui è presente un foro, al di là di quest'ultimo esse si propagano in strati concentrici (propagazione sferica), purchè il diametro del foro sia inferiore alla lunghezza d'onda del suono stesso. Il fenomeno appare intuitivo se si considera che ogni punto della circonferenza del foro si comporta come un punto qualsiasi del bordo di un oggetto, intorno al quale le onde sonore ruotano per diffrazione.

Fenomeni acustici relativi alla frequenza

In acustica sono stati riscontrati altri fenomeni, non meno interessanti di quelli fino ad ora considerati. Anche per le onde sonore, come per le onde elettromagnetiche, possono aversi fenomeni di risonanza tra due corpi vibranti aventi caratteristiche analoghe, oppure dovuti alla forma ed alle caratteristiche delle pareti di un ambiente chiuso. Altrettanto dicasi per l'interferenza tra due frequenze prossime, nel qual caso si ha la produzione di battimenti, così come avviene nel processo di conversione di frequenza nella supereterodina.

Risonanza — Se accordiamo due strumenti musicali, ad esempio due chitarre, in modo che ogni singola corda produca la medesima nota prodotta dalla corda corrispondente nell'altra, azionando una corda qualsiasi di una delle due chitarre si può facilmente constatare che la corda corrispondente nella seconda vibra anch'essa purchè la distanza tra i due strumenti non sia superiore ad un certo limite. Ciò accade in quanto le onde sonore che si propagano dal primo strumento, trovano nella corda che vibra passivamente le caratteristiche corrispondenti alla loro stessa frequenza. Il medesimo fenomeno può essere riscontrato, naturalmente con minore intensità, se la seconda corda è accordata su una frequenza armonica della prima.

Un'altra manifestazione del fenomeno di risonanza è quello dell'amplificazione del suono mediante un cosiddetto risuonatore. Un caso tipico è quello del **risuonatore di Helmholtz**, illustrato alla **figura 10**. Il principio è il seguente: qualsiasi recipiente, chiuso da tutti i lati e munito di una sola apertura in un punto qualsiasi della superficie esterna, racchiude una massa di aria avente una determinata frequenza di risonanza. Tale frequenza è determinata dalla forma e dal volume dell'involucro che la contiene. Se l'apertura praticata in detto involucro viene eccitata dalla presenza di onde sonore aventi una frequenza pari a quella di risonanza precedentemente citata, tutte le molecole di aria contenute si pongono in vibrazione creando a loro

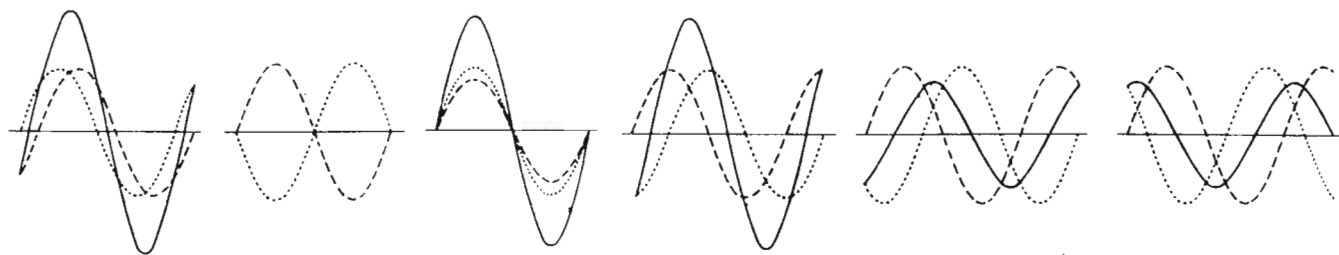



Fig. 11-A - Se due suoni contemporanei, e della medesima frequenza, sono in fase, le ampiezze si sommano.

Fig. 11-B - Se invece sono in opposizione di fase, le ampiezze si sottraggono e la risultante è nulla.

Fig. 11-C - Caso di sovrapposizione di due segnali eguali e leggermente sfasati. Le ampiezze si sommano.

Fig. 11-D - Fino ad uno sfasamento di 90°, si ha sempre una somma delle ampiezze dei due segnali.

Fig. 11-E - Se lo sfasamento è maggiore di 90°, si ha invece una sottrazione delle ampiezze dei due suoni contemporanei.

Fig. 11-F - In questo caso lo sfasamento è ancora maggiore, e la risultante ha un'ampiezza ulteriormente ridotta.

volta onde sonore che, unendosi a quelle provenienti dall'esterno, dànno un vero e proprio fenomeno di amplificazione. Se la frequenza delle onde sonore esterne viene variata leggermente in più o in meno rispetto a quella di risonanza, non si ha una brusca cessazione del fenomeno, bensì una diminuzione graduale, fin quando cioè la differenza tra la frequenza di eccitazione e quella di risonanza è tale da provocare una risonanza inapprezzabile o addirittura nulla.

Non è difficile intuire per quale motivo questo fenomeno sia stato ampiamente sfruttato nel campo della elettroacustica; esso consente infatti di correggere il responso alla frequenza da parte degli altoparlanti. Una volta stabilite le leggi che governano il fenomeno, è stato possibile calcolare le caratteristiche meccaniche degli involucri in cui detti altoparlanti vengono installati, al fine di accentuare, con la risonanza, quelle frequenze che più difficilmente vengono riprodotte.

Il principio del risuonatore di Helmholtz ha quindi reso possibile lo studio e la realizzazione del cosiddetto **bass - reflex**, di cui ci occuperemo prossimamente.

Interferenza tra suoni. — Si ha una interferenza quando due suoni che si propagano nello spazio si incontrano, facendo vibrare la medesima massa del mezzo di propagazione. Se le due frequenze sono molto diverse tra loro, esse vengono percepite entrambe e contemporaneamente, senza che si influenzino reciprocamente. Per questo motivo, è possibile percepire distintamente una esecuzione orchestrale, nella quale si hanno — come abbiamo visto — diversi suoni contemporanei.

Se invece le frequenze dei due suoni che si incontrano sono perfettamente eguali, si possono avere i fenomeni illustrati alla **figura 11**. In **A** è facile notare che, se le due frequenze sono perfettamente in fase, si ha come risultante un'unica onda sonora, avente la medesima frequenza, la cui ampiezza equivale alla somma delle due. La sezione **B** illustra il caso contrario, in cui la frequenza e l'ampiezza sono eguali, mentre la fase è esattamente opposta. In tal caso, è evidente che ogni semiperiodo di una delle onde sonore annulla quello corrispondente della seconda onda, e che la risultante è nulla. Altri casi sono illustrati nelle sezioni **C**, **D**, **E** ed **F**, nelle quali si può notare cosa accade quando le due frequenze sono eguali, come pure le ampiezze, e lo sfasamento è intermedio tra 0° e 180°.

Le possibilità in questo campo sono infinite, in quanto infiniti possono essere gli sfasamenti tra le due frequenze, e le differenze eventuali di ampiezza. In ogni caso — tenendo presente che la sovrapposizione di due frequenze, eguali ma non in perfetta fase tra loro, dà luogo ad effetti ben diversi da quelli che si ottengono quando le onde sonore sono in fase — è evidente che, quando due sorgenti sonore (eroganti i medesimi suoni) sono presenti in un unico ambiente, la loro messa in fase è cosa di estrema importanza. Se si considera — ad esempio — il caso di due o più altoparlanti, azionati dal medesimo amplificatore, ed installati nel medesimo locale, è chiaro che, se le bobine mobili sono collegate in modo da provocare contemporaneamente compressioni e rarefazioni dell'aria, il suono che si propaga diventa sgradevole a causa della sottrazione tra le ampiezze, dovuta — a sua volta — all'interferenza tra le onde provenienti dalle diverse unità.

Se due suoni, provenienti da due diverse sorgenti, si incontrano nello spazio, ed hanno una frequenza leggermente diversa, si ha la produzione di battimenti, come illustrato alla **figura 12**. Il fenomeno è del tutto identico a quello a suo tempo spiegato a proposito della conversione di frequenza nella supereterodina. Infatti, i due suoni che si incontrano ne generano un terzo di frequenza pari alla differenza tra le due considerate.

Le cause che possono determinare i fenomeni fin qui considerati sono praticamente infinite. E' possibile il verificarsi di una interferenza tra due frequenze eguali e leggermente sfasate, di cui una provocata dall'unica sorgente, ed una riflessa da una parete con un certo sfasamento. Un altro fenomeno può emergere dal fatto che due sorgenti sonore, ad esempio due altoparlanti, installati nel medesimo locale e connessi tra loro in modo che le vibrazioni dei due coni siano perfettamente in fase, provochino nonostante ciò interferenze sgradevoli. Il fatto può essere dovuto ad una eventuale differenza nella velocità di propagazione dei suoni emessi dalle unità, dovuta — a sua volta — a differenza di temperatura nelle due parti dell'ambiente.

Lo studio di questi fenomeni ha consentito di stabilire — per così dire — i princìpi sui quali si basa l'acustica architettonica ed ambientale. Ciò dimostra che, pur disponendo di un ottimo amplificatore, e di altoparlanti appositamente installati in mobili aventi caratteristiche tali da correggere opportunamente la curva di responso alla frequenza, il miglior risultato può es-

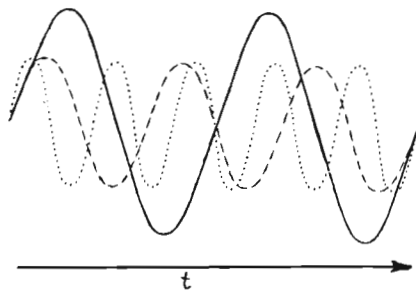



Fig. 12 - Rappresentazione grafica della formazione di un battimento. La frequenza maggiore (punteggiata), compie 5 cicli nel tempo « t ». La minore (tratteggiata) ne compie tre. La risultante (in tratto continuo), consta di 5 — 3 = 2 cicli completi.

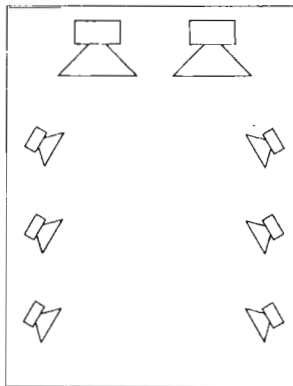



Fig. 13 - Esempio di dislocazione di altoparlanti in una sala cinematografica.

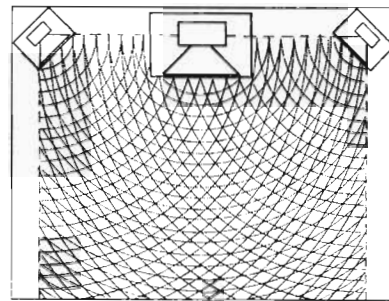



Fig. 14 - Tipica disposizione di un altoparlante per note basse (al centro), e di due più piccoli per note acute (ai lati), in un locale casalingo di medie dimensioni. E' illustrata la distribuzione delle onde sonore.

sere conseguito soltanto se si dedica là dovuta cura anche alle caratteristiche di propagazione dei suoni.

NOTE sull'ACUSTICA AMBIENTALE

Abbiamo avuto tutti occasione di constatare quale enorme differenza sussista tra l'ascolto della colonna sonora in un cinematografo contenente un numero minimo di spettatori, e l'ascolto nel medesimo cinematografo allorchè invece tutti i posti sono occupati. Analogamente, sappiamo che in un ambiente caratterizzato da ampie volte, archi, cupole o porticati, si ha sovente la manifestazione di effetti di riverberazione del suono. In entrambi i casi, la sgradevole sensazione di rimbombo delle onde sonore, a causa delle quali ogni impulso riverberato si sovrappone a quello successivo emesso dalla sorgente, compromettendo — a volte seriamente — l'intelligibilità dei suoni, è dovuta alla mancanza di assorbimento da parte delle pareti.

Normalmente, una sala di teatro o di cinematografo è notevolmente più lunga di 22 metri, per cui si dovrebbe inevitabilmente avere un'eco tale da deturpare gravemente la propagazione dei suoni emessi dagli altoparlanti. In pratica, invece, ciò non accade, in quanto in tali locali le pareti ed il soffitto sono rivestiti, come è facile notare, da appositi pannelli detti « antiriverberanti », costituiti cioè da un materiale avente caratteristiche tali da assorbire la maggior parte dell'energia sonora, riflettendone soltanto una parte minima.

Nelle sale da concerto e nei teatri, dove è necessario che la propagazione sia ideale, onde permettere l'ascolto in tutti i punti accessibili, oltre alla presenza di pannelli antiriverberanti e di tendaggi distribuiti lungo le pareti, si nota spesso la presenza di un soffice tappeto, che copre interamente il pavimento. Un altro fattore che contribuisce notevolmente all'eliminàzione degli effetti di riverberazione del suono, è il fatto che tutte le poltroncine sono rivestite di stoffa, o imbottite.

Agli effetti della distribuzione delle onde sonore, in particolare nel caso di uno o più altoparlanti installati nel medesimo locale, è sempre bene che tali unità vengano fissate ad una certa distanza dal pavimento, possibilmente su piantane o mobili di legno, tali cioè da non introdurre vibrazioni metalliche che potrebbero sovraporsi a quelle che si desidera propagare.

Si è detto in precedenza che le onde sonore sono tanto più direzionali quanto più elevata è la loro frequenza. Per questo motivo, a volte, negli impianti ad alta fedeltà, dei quali ci occuperemo più a fondo tra breve, si preferisce installare un massimo di due altoparlanti destinati al funzionamento sulle sole gamme delle onde sonore di frequenza più bassa, mentre vengono installati diversi altoparlanti adatti alla riproduzione delle sole frequenze più elevate, in diversi punti del locale.

In tal caso, oltre a curare la messa in fase di tali altoparlanti, come detto precedentemente, si cerca di ricoprire le pareti di pannelli o di materiali antiriverberanti, tali da esercitare la loro influenza in modo particolare sulle frequenze più acute. Così, mentre le frequenze gravi si propagano in tutte le direzioni grazie alla loro stessa caratteristica, pur provenendo da una sola o da un masimo di due fonti, le frequenze acute vengono invece distribuite uniformemente in tutti i sensi. La **figura 13** illustra una disposizione di altoparlanti in una sala prevista per centinaia di persone.

Nel caso dell'installazione di un complesso sonoro di piccola potenza, come quelli che normalmente si installano nelle case private (radio, registratori, giradischi, impianti sonori di cineproiezione di tipo dilettantistico, ecc.), è bene osservare le medesime precauzioni che si osservano nei locali di grandi dimensioni.

In genere, le apparecchiature di questo tipo vengono installate in un salotto, dove è già normale consuetudine coprire il pavimento con un largo tappeto, ed installare tende di stoffa relativamente pesante sia davanti alle finestre che davanti alle porte d'ingresso.

In un simile locale, avente le dimensioni di circa 4 metri di lunghezza, tre di larghezza e tre o quattro di altezza, normalmente è preferibile installare un unico altoparlante per le note gravi, e due per le note acute, così come indicato alla **figura 14**. Si otterrà una distribuzione abbastanza uniforme di tutta la gamma delle frequenze acustiche, e, dato il numero esiguo dei possibili ascoltatori, l'assorbimento sarà adeguato sia col numero minimo che col numero massimo di persone.

In una futura lezione, ci occuperemo di una moderna evoluzione delle apparecchiature di Bassa Frequenza, e precisamente degli impianti adatti alla riproduzione stereofonica. In queste installazioni, il pericolo di riverberazioni e di interferenze acquista importanza ancora maggiore, in quanto tali inconvenienti tendono ad annullare i vantaggi offerti da questo sistema.

MISURE sugli AMPLIFICATORI di BASSA FREQUENZA

Gli strumenti che più risultano utili nello studio e nella riparazione dei circuiti di amplificazione in Bassa Frequenza sono senza dubbio l'oscillografo, il generatore di segnali ad onda quadra o sinusoidale, ed infine, il voltmetro a valvola. In questa lezione esamineremo una serie di misure che si possono eseguire, con tali strumenti, sugli amplificatori. Prima di descrivere le tecniche di misura e di prova, ricordiamo però le seguenti precauzioni generali.

1) Prima di porre in funzione un amplificatore, è necessario che alla sua uscita sia collegato un carico adeguato: senza di esso si corre il rischio di danneggiare seriamente sia la valvola finale che il trasformatore di uscita. Quando le misure che si stanno effettuando sono di tipo qualitativo (linearità, distorsione, o simili) il carico deve coincidere esattamente con quello previsto per l'amplificatore, e pertanto può essere costituito dall'altoparlante stesso dell'amplificatore o da un carico equivalente a tutti gli effetti. Per misure di altri generi è invece possibile sostituire l'altoparlante con un carico resistivo appropriato, badando a non variare l'impedenza.

2) Quando si eseguono prove qualitative e si applica all'ingresso dell'amplificatore il segnale proveniente da un generatore, è bene assicurarsi che l'impedenza di entrata dell'amplificatore e quella di uscita del generatore si adattino perfettamente: in caso contrario, i risultati ottenuti potrebbero esserne falsati. Ciò vale particolarmente quando le impedenze in questione sono basse. Utilizzando invece un'entrata ad alta impedenza, si può, entro certi limiti, trascurare di adattarla rigorosamente a quella del generatore.

RIPARAZIONE degli AMPLIFICATORI

Se un amplificatore per B.F. non funziona totalmente, o comunque fornisce una scarsa potenza d'uscita, la sua riparazione è facile quando si disponga di un oscillografo, un generatore di segnali ed infine di un « tester » o, meglio, di un voltmetro a valvola.

Le prime misure da eseguire sono quelle di carattere generale, che si possono effettuare col « tester » o con il voltmetro a valvola. Esse riguardano principalmente la verifica delle tensioni presenti ai vari elettrodi delle valvole, ed in particolare la regolarità della tensione di accensione e di quella di alimentazione anodica. Se tutto sembra regolare, si procede collegando, all'entrata dell'amplificatore, l'uscita del generatore di segnali. Quest'ultimo può essere costituito da un qualsiasi oscillatore a B.F. sia del tipo ad onde sinusoidali, che ad onde quadre. Si può anche usare il segnale presente all'uscita a B.F. dell'oscillatore modulato o, in mancanza di altro, la tensione alternata a 50 Hz proveniente dalla relativa uscita generalmente presente sugli oscillografi.

Regolata opportunamente la tensione che si invia all'entrata dell'amplificatore — in modo che non sia nè troppo alta nè troppo bassa — si applichi l'oscillografo all'entrata del primo stadio di amplificazione, ossia tra la griglia della prima valvola amplificatrice e la massa. Ivi deve riscontrarsi la presenza di segnale, seppure con ampiezza minore rispetto a quello presente all'uscita del generatore, poichè i circuiti di ingresso introducono sempre una certa attenuazione, particolarmente notevole nel caso in cui si abbia la presenza di controlli di tono. Se non è presente alcun segnale, esaminare con cura tutti i circuiti *RC* d'ingresso, fino a trovare il collegamento interrotto od il componente avariato.

Se, invece, tutto è regolare, si procede nell'analisi successiva dei circuiti, applicando l'oscillografo all'uscita del primo stadio, ossia tra la placca della prima valvola amplificatrice e massa. Anche qui, se non si ha presenza di segnale, occorre esaminare tutti i circuiti e verificare l'efficienza della valvola, mentre se il segnale è regolarmente presente, adeguatamente amplificato, si può procedere ad esaminare, seguendo lo stesso procedimento, gli stadi successivi. Ciò fino a che si trovi uno stadio in cui il segnale o manca, o presenta un'ampiezza insufficiente. Si tenga presente che tutti gli stadi, eccettuati alcuni tipi di invertitori di fase, devono apportare un notevole aumento nella tensione del segnale.

Trovato lo stadio che non funziona regolarmente, è probabile che un semplice esame visivo basti a far notare componenti che presentino evidenti irregolarità, quali — ad esempio — resistenze bruciate. Successivamente, si esaminano tutte le tensioni col « tester »: se qualcuna è mancante o di valore notevolmente diverso da quello prescritto, si misura, dopo avere spento l'amplificatore, la resistenza corrispondente. Si controlli, infine, l'efficienza della valvola.

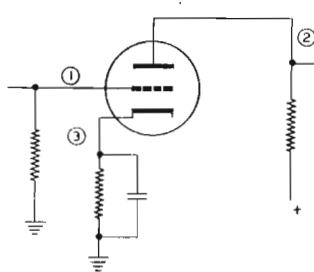



Fig. 1 - Se l'oscillografo rivela ronzio nel punto 2 (placca), e non nel punto 1 (griglia), è probabile riscontrarlo anche nel punto 3 (catodo), per dispersione di questo verso il filamento.

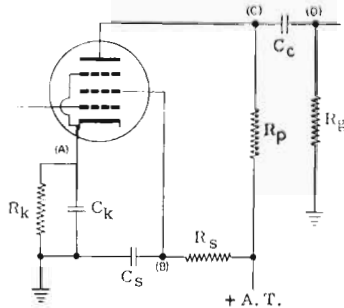



Fig. 2 - Verifica dei condensatori con l'oscillografo. Il segnale deve essere presente in C e in D, ed assente in A e in B.

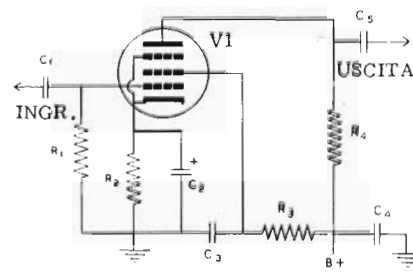



Fig. 3-A - Controllo del responso di uno stadio. Il segnale entra tra C1 e massa, e viene osservato tra il terminale di C5 e la massa.

GUADAGNO

FREQUENZA

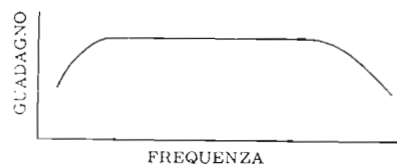



Fig. 3-B Curva di responso. Si noti il tratto lineare.

MISURE di RONZIO e di RUMORE

Anche per queste misure è opportuno l'impiego di un oscillografo. Per rendersi conto esattamente della presenza di ronzio, occorre fare in modo che all'ingresso dell'amplificatore non sia presente alcun segnale, e successivamente esplorare tutti i punti del circuito per verificare l'eventuale esistenza di segnali alternati parassiti. Tale esame si inizia, in genere, dall'uscita dello stadio di alimentazione. Molte volte infatti il ronzio è dovuto ad un filtraggio inadeguato della tensione anodica, che determina la presenza, nei circuiti di placca delle valvole, di un segnale alla frequenza di 50 Hz oppure di 100 hertz.

Se l'uscita dello stadio di alimentazione è priva di componente alternata, il ronzio è determinato da altre cause, ed occorre esaminare con l'oscillografo tutti gli stadi, fino a trovare quello più vicino all'entrata in cui il ronzio è ancora presente. Si tenga conto che, man mano che si risale dallo stadio finale a quelli precedenti, la tensione di ronzio diminuisce notevolmente, e quindi occorre aumentare in modo adeguato la sensibilità del canale verticale dell'oscillografo.

Il ronzio a 50 Hz è causato molte volte da accoppiamenti, interni o esterni, tra il circuito di catodo e quello di filamento, da mancanza di schermatura, da circuiti di griglia aperti, da sbilanciamenti nel circuito raddrizzatore. Il ronzio a 100 Hz è invece dovuto, direttamente o indirettamente, alla tensione pulsante presente all'uscita della raddrizzatrice.

Molto spesso può capitare che all'interno di una valvola si verifichino perdite tra il catodo ed il filamento, perdite capaci di apportare un ronzio a 50 Hz. Consideriamo lo schema di **figura 1**: se, ad un esame oscillografico, risulta la presenza di ronzio sul punto 2, mentre sulla griglia (punto 1) non si ha alcun segnale alternato parassita, occorre applicare i terminali dell'oscillografo sul catodo della valvola, per verificare se ivi è presente ronzio.

Orientamento dei trasformatori d'entrata

In molti amplificatori di tipo commerciale sono presenti dei trasformatori d'entrata, utilizzati sopratutto per quanto riguarda l'adattamento dell'entrata microfonica. La posizione di questi componenti è critica, e viene regolata, all'atto del montaggio, in modo che il ronzio determinato sia il minore possibile. Nel caso in cui la posizione del trasformatore venga variata accidentalmente, occorre procedere ad un riorientamento, seguendo la seguente tecnica:

1) connettere l'oscillografo in modo da poter osservare sullo schermo il segnale presente all'uscita dell'amplificatore.

2) Senza alcun segnale d'ingresso, ruotare il controllo di volume dell'amplificatore per il massimo guadagno. In tal caso, il ronzio dovrebbe determinare sullo schermo dell'oscillografo un segnale alternato. I controlli di tono dell'amplificatore vanno disposti entrambi nella posizione in corrispondenza della quale si ottiene il ronzio massimo.

3) Variare, gradualmente e metodicamente, la posizione del trasformatore d'entrata, fino ad individuare quella che corrisponde ad una minima captazione di ronzio. Successivamente, fissare il trasformatore in tale posizione.

La stessa tecnica può essere usata nella costruzione e nella progettazione di amplificatori. In tal caso essa si può estendere alla ricerca della migliore posizione per gli eventuali trasformatori intervalvolari, nonchè per il trasformatore di uscita.

Prova dei condensatori di filtro e di accoppiamento

Il buon funzionamento dei condensatori di fuga o di accoppiamento, può essere facilmente e rapidamente accertato mediante l'uso dell'oscillografo. Alla **figura 2** è rappresentato un tipico stadio amplificatore a pentodo con accoppiamento a resistenza e capacità. Per provare i condensatori di accoppiamento e di fuga che compaiono in questo stadio, si deve introdurre, all'ingresso, un segnale ad audio frequenza, preferibilmente compreso tra 400 Hz e 1.000 Hz.

La prova del condensatore di fuga del circuito di catodo può essere eseguita collegando l'entrata verticale dell'oscillografo al punto *A*: la presenza di segnale su questo punto indica che il condensatore è completamente o parzialmente interrotto. Una misura dello stesso tipo eseguita al punto *B*, ci fornisce indicazioni circa il condensatore di fuga della griglia schermo.

Per provare invece il condensatore di accoppiamento C_c, occorre rilevare le ampiezze relative del segna-

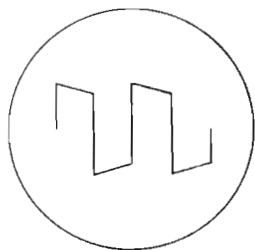



Fig. 4-A - Distorsione di un segnale ad onda quadra, dovuta a scarso rendimento sull'estremità bassa della banda.

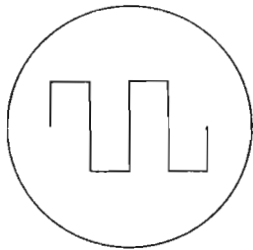



Fig. 4-B - Superata la frequenza del limite inferiore della banda, l'onda quadra assume una forma regolare.

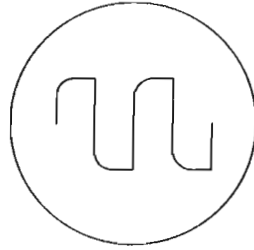



Fig. 5-A - Si ha una distorsione di questo tipo se il responso è scadente in prossimità delle frequenze alte.

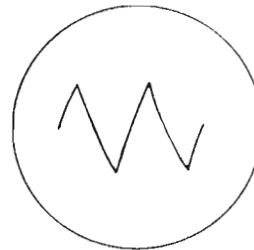



Fig. 5-B - Allorchè si ha una notevole attenuazione delle armoniche più elevate, l'onda quadra diventa triangolare.

le al punto *C* ed al punto *D*. L'eventuale notevole perdita di segnale audio rilevata al punto *D* è un'indicazione che il condensatore di accoppiamento è interrotto o irregolare. Per verificare invece la presenza di corto circuiti all'interno dei condensatori suddetti, non occorrono misure oscillografiche. Infatti, un cortocircuito nel condensatore di fuga della griglia schermo determina l'interruzione della resistenza relativa, o la mancanza di tensione. Per C_c e C_k, è sufficiente una misura di tensione: se tra il punto *A* e massa non esiste differenza di potenziale, il condensatore C_k è in cortocircuito, ed analogamente, se non esiste differenza di potenziale tra i punti *C* e *D*, il condensatore C_c è in cortocircuito.

Prova sui controlli di volume e di tono

I potenziometri dei controlli di volume e di tono possono, dopo lungo uso dell'amplificatore, divenire sorgenti di rumore. Spesso ciò si può rilevare ad orecchio, ruotando abbastanza rapidamente in un senso e nell'altro il potenziometro sospetto.

Per eseguire la prova con l'oscillografo occorre collegare il cursore del potenziometro all'entrata verticale. Con scarso livello di segnale ad audiofrequenza, applicato all'entrata dell'amplificatore, osservare la figura che compare sull'oscillografo quando si ruota rapidamente avanti e indietro il potenziometro. L'ampiezza del segnale, rilevabile sull'oscillografo, deve variare in modo proporzionale alla rotazione del potenziometro, e senza presentare discontinuità o irregolarità. La presenza variazioni d'ampiezza non corrispondenti alla rotazione del potenziometro, di sobbalzi dell'immagine, o di di disturbi nella figura, denotano che il potenziometro in questione introduce rumore.

Qualche volta il rumore introdotto da un controllo di tono o di volume è dovuto semplicemente alla presenza di polvere. o comunque, di materiali estranei, che si sono depositati sullo strato resistivo su cui scorre il cursore. In tali casi non è necessario sempre provvedere alla sostituzione del potenziometro, essendo spesso sufficiente iniettare, con un contagocce o con una siringa, una piccola quantità di tetracloruro di carbonio all'interno del potenziometro, e, successivamente, ruotare vigorosamente in entrambi i sensi. Se, dopo tale prova, si possono ancora rilevare irregolarità di funzionamento, il potenziometro deve senz'altro essere sostituito.

RILEVAMENTO della BANDA PASSANTE

Un generatore di onde quadre è lo strumento più idoneo per determinare rapidamente la risposta alla frequenza di un amplificatore, od anche di un singolo stadio di amplificazione. Ciò perchè, osservando il segnale ad onda quadra dopo il suo passaggio attraverso l'amplificatore in esame, si possono dedurre immediatamente una serie di interessanti considerazioni che, usando segnali sinusoidali, possono essere rilevate solo con maggiore laboriosità e maggiore dispendio di tempo.

Vediamo ora la procedura delle misure relative alla determinazione della banda passante. Consideriamo lo stadio amplificatore indicato alla **figura 3-A**. Si tratta di un comune stadio ad accoppiamento *RC*, usato nella maggior parte degli amplificatori: la sua curva di risposta è indicata dalla figura 3-**B**. Per rilevare la risposta alla frequenza di tale amplificatore, si deve connettere il generatore di onde quadre all'entrata, ossia tra il terminale libero del condensatore *C*1 e la massa, e l'oscillografo all'uscita, ossia tra il terminale libero del condensatore *C*5 e la massa. Si applicano poi segnali di diverse frequenze all'ingresso, osservando ogni volta la corrispondente traccia ottenibile in uscita.

E' importante regolare accuratamente la tensione del segnale avviato allo stadio (uscita del generatore). Se si conosce la sensibilità dell'amplificatore sotto prova — e la tensione del segnale fornito è rilevabile a mezzo di uno strumento o di un attenuatore calibrato — è sufficiente regolare tale tensione ad un valore quasi eguale alla sensibilità dell'amplificatore. Se queste indicazioni non sono note, si usi la minima tensione di uscita del generatore, in grado di fornire una figura apprezzabile sullo schermo dell' oscillografo. Aumentando troppo la tensione, si corre il rischio di sovraccaricare qualche stadio di amplificazione.

A frequenze molto basse, dell'ordine di poche diecine di hertz, il segnale di uscita appare come è indicato alla **figura 4-A**. Come già sappiamo, tale è infatti la distorsione che subisce un'onda quadra, durante il passaggio attraverso un amplificatore che abbia un limite inferiore della banda passante superiore alla frequenza fondamentale del segnale. Aumentando gradatamente la frequenza, il segnale d'uscita assume la forma, ben delineata, della figura 4-**B**. Il passaggio dell'onda 2-*A* all'onda 2-*B*, pur non essendo netto, ma

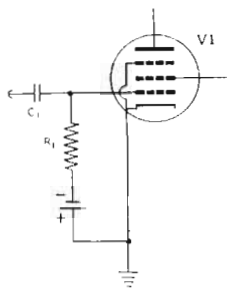



Fig. 6 - Esempio di polarizzazione di griglia ottenuto inserendo una batteria tra la griglia stessa e la massa.

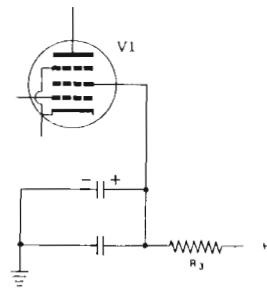



Fig. 7 - Eliminazione degli effetti dell'induttanza parassita dei condensatori a forte capacità, mediante una capacità minore in parallelo.

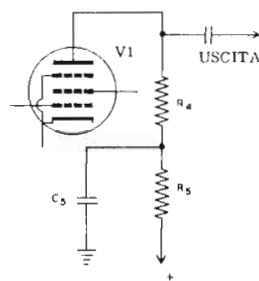



Fig. 8 - Disaccoppiamento anodico di compensazione. I valori di C5 e di R5 sono tali da consentire l'attenuazione delle sole frequenze alte.

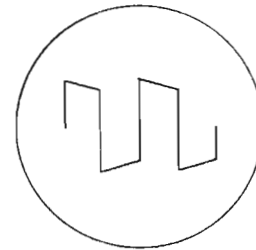



Fig. 9 - Se il valore di C5 (figura 8) è insufficiente, o quello di R5 è eccessivo, si può ottenere l'effetto contrario indicato dalle onde quadre (attenuazione delle note gravi e quindi distorsione).

graduale, permette di determinare, con notevole esattezza, l'estremo basso della banda passante dell'amplificatore. Durante la prima parte del tratto lineare della caratteristica di frequenza, il segnale d'uscita mantiene l'andamento ideale, ossia corrisponde esattamente al segnale d'ingresso. Per frequenze facenti parte della parte più alta della banda passante, il segnale ottenuto comincia ad avere gli angoli non molto ben delineati, fino ad assumere, a frequenze intorno al limite superiore della banda, un andamento pressochè triangolare. (**figure 5-A** e 5-**B**).

Mentre per la determinazione dell' estremo basso non si hanno dubbi, poichè esso corrisponde alla più bassa frequenza di segnale che passa senza subire distorsione, per l'estremo alto occorre dapprima definire il numero di armoniche superiori che si ritiene sufficiente a rappresentare con esattezza un'onda quadra. Si è stabilito che un'onda quadra venga rappresentata con sufficiente approssimazione delle sue prime **dieci** armoniche, e pertanto, per determinare l'estremo superiore della banda passante, basta moltiplicare per 10 la massima frequenza del segnale che esce dall'amplificatore ancora assolutamente indistorto, ossia con gli spigoli ben delineati. Ad esempio, supponiamo che le frequenze limite che vengono amplificate senza alterazione siano di 50 Hz e di 2 kHz. Ciò significa che la banda passante si estende da 50 Hz a 10 x 2 kHz, ossia da 50 Hz a 20 kHz.

Visto come si possa determinare la banda passante, prendiamo in considerazione il problema dell'*ampliamento* della banda suddetta.

Miglioramento del responso alle frequenze basse

Il responso alle frequenze basse dipende principalmente dalla capacità dei condensatori di accoppiamento, C1 e C5, dal valore della resistenza di griglia, *R*1, nonchè dai due condensatori di fuga, C2 e C3, posti nei circuiti di catodo e di griglia schermo (figura 3-A). In generale, quanto più sono alti i valori dei componenti sopra citati, tanto più si estende la risposta alle frequenze basse. Molti progettisti, invece di prendere in considerazione separatamente i condensatori e le resistenze relative, considerano come maggiormente indicativo il prodotto *RC*, detto « costante di tempo » del circuito. Ad esempio, sempre considerando lo stadio di figura 3-A, la costante di tempo del circuito d'entrata è data dal prodotto *C*1 x *R*1; per una buona riproduzione delle frequenze basse, le varie costanti di tempo devono essere il più possibile alte.

Le condizioni di accoppiamento ideali si avrebbero, per quanto detto, con capacità di accoppiamento e resistenza di griglia infinita. In pratica il funzionamento dello stadio con la griglia che presenti una resistenza infinita verso massa, o, come si suol dire, con la griglia « aperta », è impossibile: vengono a mancare le condizioni di polarizzazione per un corretto funzionamento.

Le migliori condizioni, per quanto riguarda i circuiti di accoppiamento, si ottengono con l'accoppiamento diretto, già da noi preso in considerazione più volte. Esso serve, (ad esempio, anche nel caso degli oscillografi) ad estendere la banda passante fino alla corrente continua. Tuttavia, l' accoppiamento diretto comporta l'inconveniente già esposto: la tensione di griglia di uno stadio deve essere pari alla tensione di placca dello stadio precedente. Perciò, la tensione di placca di ogni stadio deve essere più alta di quella dello stadio precedente, e ciò pone dei limiti al numero di accoppiamenti diretti che si possono adottare in un amplificatore, essendo limitato il valore massimo di tensione anodica disponibile.

Il condensatore di fuga, C2, posto nel circuito di catodo, può essere — per aumentare la costante di tempo relativa — un elettrolitico ad alta capacità. Tuttavia, per ottenere la polarizzazione, si preferisce talora usare la tensione fornita da una batteria apposita, come si vede alla **figura 6**; in tal caso, il catodo è collegato a massa; il circuito è analogo a quello ad accoppiamento diretto, descritto a proposito del circuito di griglia, ed apporta gli stessi vantaggi.

Anche per quanto riguarda il condensatore di fuga per la griglia schermo, C3, è bene che la capacità sia assai alta. L'impiego dei condensatori elettrolitici tuttavia, è meno indicato in questo caso: ciò, perchè questi condensatori presentano, in genere, una elevata induttanza parassita, che diminuisce l'efficacia del condensatore quale via di fuga per le frequenze elevate. E' quindi opportuno usare condensatori a carta o ceramici ad alta capacità, oppure disporre, in parallelo all'elettrolitico, un condensatore a carta per la fuga delle frequenze alte, come indicato alla **figura 7**.

Le tecniche finora esposte sono ottime, ma compor-

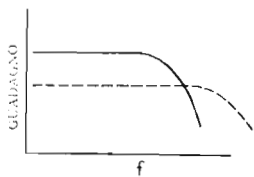



Fig. 10 - Diminuendo il valore della resistenza di carico, si ottiene un minor guadagno, ed un allargamento della banda passante (da linea intera a linea tratteggiata).

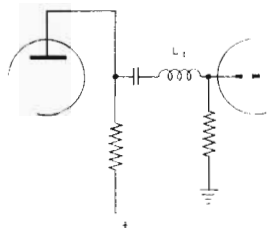



Fig. 11-A - Applicazione in serie al segnale di una bobina di picco (L1). La sua risonanza sulle frequenze elevate migliora il responso.

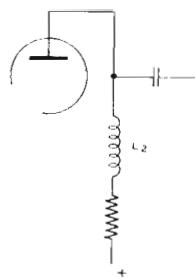



Fig. 11-B - In questo caso la bobina di picco (L2) è in parallelo al segnale. L'effetto si risolve sempre in una esaltazione delle note acute.

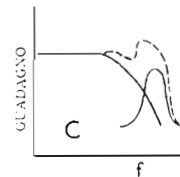
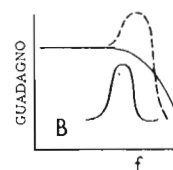
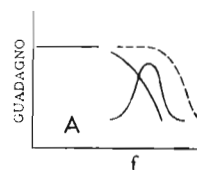



Fig. 12 - In A, miglioramento del responso per effetto di induttanza. In B e C sono illustrati gli inconvenienti dovuti ad un valore inadatto della frequenza di risonanza.

tano spesso difficoltà pratiche, sia per il maggior costo dei componenti, che per la difficoltà di sistemarli, come ad esempio nel caso della batteria di polarizzazione. Si può ricorrere allora, per evitare tali inconvenienti, al circuito di compensazione, illustrato alla **figura 8**. I valori di C5 ed *R*5 vengono scelti in modo che la costante di tempo *R*5xC5 sia tale da divenire parte del carico in corrispondenza delle frequenze più basse, non offrendo invece alcuna resistenza alle frequenze centrali ed a quelle alte. In tal modo, il segnale di figura 4-*A*, ottenuto ad una frequenza inferiore all'estremo basso, si può trasformare nel segnale 4-*B*, ad andamento ideale. Si è pertanto provveduto ad un reale ampliamento della banda passante.

I valori di C5 e di *R*5 non si possono calcolare a priori, ma devono essere scelti sperimentalmente, osservando sull'oscillografo la forma d'onda di un segnale rettangolare a frequenza bassa. Essi sono piuttosto critici, e possono dar luogo, se C5 è troppo piccolo, o *R*5 troppo alta, ad una distorsione in senso opposto, del tipo di quella già nota, indicata alla **figura 9**.

Miglioramento del responso alle frequenze alte

Il responso di un amplificatore alle frequenze alte, normalmente viene limitato dalla partizione di tensione determinata dalla resistenza della valvola e dalle capacità griglia-catodo. Questa capacità risulta dalle capacità distribuite dei collegamenti, dalla capacità interna placca-catodo della valvola, ed infine, dalla capacità griglia-catodo della valvola dello stadio successivo. Alle frequenze più alte, l'impedenza offerta da queste capacità distribuite abbassa il valore della resistenza di carico *R*4. Poichè le capacità ora menzionate sono disposte in parallelo al carico anodico, il carico effettivo diminuisce, e diminuisce il guadagno.

La migliore soluzione consiste nel diminuire la resistenza di carico: si ottiene, è vero, anche una diminuzione nel guadagno complessivo, ma si ha il compenso di una maggiore ampiezza della banda passante (**figura 10**). Quando non sia possibile diminuire il valore della resistenza di carico, si deve ricorrere all'introduzione delle cosiddette **bobine di picco** (**figure 11-A** e 11-**B**). In un caso la bobina è disposta in serie, e nell'altro in parallelo; talora, si usano anche combinazioni in serie-parallelo. L'azione in entrambi i casi si svolge in modo simile: le bobine formano un circuito risonante, la cui capacità è costituita dalle capacità distribuite dei collegamenti, e tale circuito risonante contribuisce ad elevare il guadagno dell'amplificatore alle frequenze alte.

Pertanto, se la frequenza di risonanza della bobina viene scelta opportunamente, si ha un prolungamento dell'estensione del tratto lineare di risposta verso l'estremo alto, (**figura 12-A**). Le onde quadre che si ottengono in uscita non hanno più gli angoli arrotondati, come alla **figura 13-A**. Naturalmente, la frequenza di risonanza deve essere scelta in modo opportuno: in caso contrario, si ottengono curve del tipo rappresentato, in tratteggio, alle figure 12-**B** e **C**. Esse rappresentano, rispettivamente, il caso in cui la frequenza di risonanza della bobina di picco è troppo bassa (interna al tratto rettilineo della caratteristica), oppure è troppo alta. In corrispondenza del caso 12-B si ottiene un segnale in uscita oltremodo irregolare (figura 13-**B**). Può, talora, determinarsi anche una oscillazione smorzata (figura 13-**C**). Se la frequenza di risonanza è troppo alta si ha invece una oscillazione sovrapposta a distorsione (figura 13-**D**).

Può capitare che il fattore di merito della bobina di picco, « Q », sia troppo elevato, e si hanno anche in questo caso figure del tipo 13-B o 13-C. Occorre allora connettere, in parallelo alla bobina, una resistenza di smorzamento (**figura 14**).

MISURE di DISTORSIONE

Una delle misure più interessanti che si possono eseguire sugli amplificatori riguarda la distorsione. L'importanza di questa prova deriva dal fatto che essa indica direttamente la fedeltà dell'apparecchio.

I metodi standard per la misura della distorsione sono fondati su varianti della seguente tecnica:

1) Un'onda sinusoidale assolutamente indistorta — avente una frequenza ben determinata — viene applicata ai terminali *di ingresso* dell'amplificatore che si vuole provare.

2) *L'uscita* dell'amplificatore è applicata ad un circuito, nel quale la frequenza fondamentale del segnale avviato all'ingresso viene soppressa attraverso un appropriato filtro passa - basso.

3) Se nel segnale non vi è alcuna armonica, all'uscita del filtro non si avrà alcuna tensione.

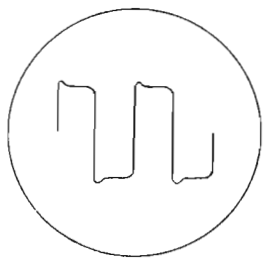



Fig. 13-A - Con una frequenza di risonanza adatta, le onde quadre di figura 4-A presenti in uscita migliorano nella loro forma.

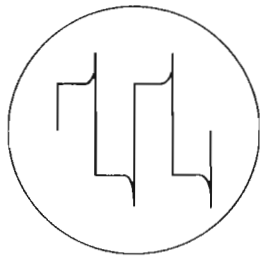



Fig. 13-B - Con una eccessiva esaltazione delle note alte, le onde quadre assumono la forma indicata, ossia vengono distorte.

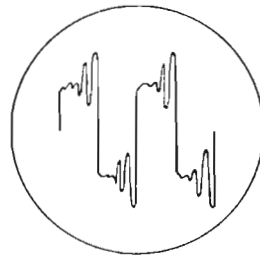



Fig. 13-C - Se la frequenza di risonanza della bobina di picco è inadatta, si possono manifestare oscillazioni spurie ad andamento smorzato.

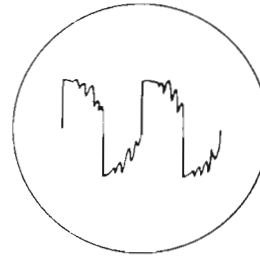



Fig. 13-D - Esempio di forma d'onda quadra distorta a causa di una frequenza di risonanza troppo alta della bobina di picco.

Per le armoniche presenti si avrà invece una tensione in quanto, essendo il filtro accordato in modo da impedire il passaggio solo alla fondamentale, le armoniche stesse potranno passare: in altre parole, si determinerà in conseguenza, all'uscita, una tensione misurabile. Questa tensione indicherà che l'amplificatore ha distorto il segnale applicato alla sua entrata.

4) La citata tensione di distorsione viene misurata, e la percentuale di distorsione armonica risulta dal rapporto tra la tensione armonica e la somma di quest'ultima con la fondamentale. A questo proposito, le due tensioni devono essere misurate prima e dopo il filtro: la misura può essere eseguita sia con oscillografo che con voltmetro a valvola. Essa deve essere ripetuta a diverse frequenze, opportunamente scelte nella gamma delle frequenze acustiche.

Questo è il sistema che sta alla base di tutti gli strumenti di produzione commerciale capaci di indicare la distorsione totale. Dobbiamo far presente che le difficoltà che si interpongono nella effettuazione pratica della misura ora descritta sono molte. Innanzitutto, occorre che il generatore di segnali fornisca una tensione perfettamente sinusoidale: strumenti di tale genere sono di costo assai elevato.

Un'altra difficoltà notevole riguarda l'impiego dei filtri. Da un punto di vista ideale, un filtro per la misura della distorsione armonica dovrebbe essere tale da escludere completamente il passaggio della fondamentale, pur permettendo la trasmissione di tutte le armoniche superiori. Un filtro di caratteristiche tali deve avere una banda passante nettamente definita, che possa permettere misure di distorsione armonica precise fino a percentuali molto basse, deve essere progettato con accuratezza, e costruito con componenti di qualità, che presentino un alto fattore di merito Q; anche in tal caso il fattore costo è notevole.

Un'altra misura che può essere interessante e significativa sugli amplificatori, è quella della **distorsione di intermodulazione**. Si tratta, in sostanza, di rilevare le interazioni tra due segnali di frequenza diversa, applicati contemporaneamente all'ingresso dell'amplificatore. Secondo le tecniche più recenti, tali misure si effettuano applicando un segnale a frequenza molto bassa, ad esempio a 50 Hz, ed uno a frequenza molto alta, ad esempio 15 kHz. Se l'amplificatore ha caratteristiche tali da non introdurre distorsione per intermodulazione, i due segnali compaiono all'uscita senza che si sia verificata alcuna azione reciproca tra di loro. Se ciò non è, all'uscita, il segnale a frequenza maggiore risulta modulato da quello a frequenza minore. La tecnica per determinare tale percentuale di modulazione si può dividere allora nelle seguenti tappe: 1) Il componente a frequenza alta modulata viene separato a mezzo di un adeguato filtro passa-alto. 2) Esso viene successivamente demodulato, ed il valore medio di questo segnale viene riportato ad un livello di riferimento predeterminato, agendo su di un controllo di volume. 3) Il componente a frequenza bassa viene infine separato dal resto del segnale, con filtro passa - basso, e successivamente misurato con un voltmetro a valvola, tarato direttamente per misurare la percentuale di distorsione d'intermodulazione.

Anche per le misure di distorsione di intermodulazione, e per l'interpretazione dei risultati ottenuti, si hanno difficoltà. I filtri passa-alto e passa-basso richiesti, devono avere dei punti di passaggio piuttosto netti, per prevenire interferenze con le frequenze eliminate, e per evitare una imperfetta trasmissione di quelle da misurare, quindi, anche in questo caso, occorre, per la costruzione dei filtri, usare componenti con alto fattore di merito. Inoltre, sia i rapporti di ampiezza dei due segnali, che le loro frequenze, possono essere scelti in modo diverso, e si rende necessario, di conseguenza, eseguire un discreto numero di prove, corrispondenti a diverse combinazioni di frequenze e di ampiezze relative.

Perchè un amplificatore effettui una fedele riproduzione, occorre che sia lineare e, per lineare, sappiamo che si intende un comportamento secondo il quale il segnale di uscita deve seguire con proporzionalità quello di entrata. Se la tensione di ingresso viene, ad esempio, raddoppiata, anche la tensione di uscita deve diventare il doppio del suo valore di origine. Se la forma d'onda del segnale di entrata varia comunque, anche la forma d'onda di uscita deve seguire simili variazioni, naturalmente con l'ampiezza maggiore che si deve all'amplificazione. Ogni genere di distorsione, sia essa armonica, di fase, di frequenza o di intermodulazione, è una causa che contribuisce a differenziare la forma d'onda d'uscita rispetto a quella di entrata.

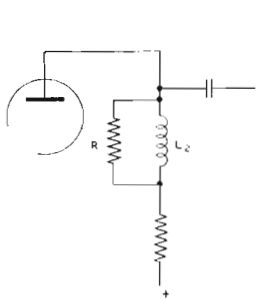



Fig. 14 - Per diminuire il fattore di merito (Q) della bobina, può essere opportuno connettere in parallelo ad essa una resistenza, il cui valore viene trovato sperimentalmente.

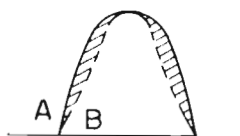



Fig. 15 - Sovrapposizione di due semialternanze, del segnale di entrata (A), e del segnale di uscita (B). La zona tratteggiata indica la differenza tra le due aree, che, divisa per l'area limitata da A, dà la percentuale di distorsione.

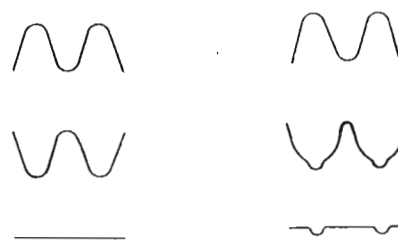



Fig. 16-A - Sovrapponendo due semiperiodi sfasati, (uno di entrata e uno di uscita) indistorti, la risultante (in basso) è nulla.

Fig. 16-B - Se invece nel solo segnale di uscita è presente una alterazione, essa risulta evidente in seguito alla sovrapposizione (vedi in basso).

Da ciò segue che una prova della linearità dell'amplificatore (del segnale di uscita rispetto al segnale di entrata) è molto importante ai fini della determinazione della fedeltà. Tale prova può essere effettuata con qualunque genere di segnale d'ingresso; non è necessario alcun generatore di segnali ad alta purezza, poichè un sistema per alta fedeltà deve riprodurre esattamente anche un'onda distorta applicata al suo ingresso.

Un metodo, consiste nell'applicare, per ogni frequenza scelta per la prova, una serie di diverse tensioni di ingresso, e nel verificare che le corrispondenti variazioni nella tensione di uscita siano proporzionali. Se la tensione di uscita viene rappresentata, su di un grafico, rispetto alla tensione d'entrata, si dovrebbe ottenere, per un amplificatore che non introduce distorsione, una linea retta. Se la linea non è retta in ogni suo tratto, la percentuale secondo cui essa devia dall'andamento lineare, è un indice della distorsione. Tale mancanza di linearità può essere imputabile a tutti e quattro i tipi fondamentali di distorsione.

Il metodo di verifica della linearità punto per punto è laborioso. Ciò perchè le prove devono essere eseguite non solo in corrispondenza di diverse frequenze e di diverse tensioni di ingresso, ma anche eseguendo una serie di variazioni sui controlli di volume e di tono dell'amplificatore. Descriveremo ora circuiti e metodi adatti ad ottenere in modo rapido ed automatico le misure di cui si è detto.

Metodo dello sfasamento

Supponiamo che un segnale di prova sinusoidale venga applicato ai terminali di ingresso dell'amplificatore in esame. Una semialternanza del segnale di ingresso è rappresentata alla **figura 15** (linea A). Ora, se il segnale di uscita dell'amplificatore viene regolato in modo da avere la stessa tensione di picco, esso può apparire come risulta dalla curva B. L'area racchiusa dalla curva A, diminuita di quella relativa alla curva B, indica l'entità della deviazione del segnale di uscita rispetto a quello d'entrata: se questa differenza viene divisa per l'area racchiusa dalla curva A, ne risulta la percentuale di distorsione. L'area tratteggiata, nella figura 15, rappresenta la differenza in questione.

La distorsione può essere rilevata in questo modo esaminando successivamente, sullo schermo di un oscillografo, i segnali d'uscita e d'entrata, purchè si faccia attenzione a regolare i comandi in modo che i segnali presentino la stessa ampiezza di picco. Per eseguire il confronto, le tracce possono essere disegnate a matita su una carta semitrasparente. I segnali d'entrata e di uscita devono essere della medesima fase. Alcune volte, allo scopo, si rende necessaria una rete di sfasamento a resistenza-capacità, nel caso in cui l'amplificatore che è in esame determini uno sfasamento del segnale.

Nel metodo dello sfasamento per la misura della distorsione, il segnale di ingresso è spostato di 180° rispetto al segnale di uscita, ed i due segnali vengono mescolati, dopo che sono stati regolati per una eguale ampiezza. Se non si ha distorsione, poichè i due segnali sono eguali in ampiezza e opposti in fase, essi si cancellano l'un l'altro. Il fenomeno è rappresentato alla **figura 16-A**. Se invece il segnale d'uscita è distorto, solo quella parte di esso che è eguale ed opposta al segnale di entrata si annulla: il rimanente, rappresentante la distorsione, ossia la deviazione rispetto al comportamento di assoluta linearità, appare sullo schermo, come da figura 16-**B**. Esso può essere misurato anche con un voltmetro a valvola.

L'ampiezza dei picchi della componente di distorsione può essere successivamente paragonata col segnale complessivo di uscita, ed in tal modo si può facilmente calcolare la percentuale di distorsione. Se il segnale prodotto dal generatore che si applica all'entrata è distorto, le cose non cambiano; infatti, se l'amplificatore non introduce distorsione, anche il segnale di uscita sarà distorto allo stesso modo, e si otterrà quindi ancora, sullo schermo dell'oscillografo, una traccia nulla orizzontale. Se viceversa, l'amplificatore introduce distorsione, essa risulta sullo schermo come deviazione dell'andamento orizzontale.

Alla **figura 17** è indicato lo schema completo di un circuito che consente il rilievo della percentuale di distorsione di un amplificatore, secondo il metodo ora descritto, dello spostamento di fase. In esso la valvola 12AU7 (doppio triodo) svolge funzioni di mescolatrice, poichè riceve i segnali provenienti sia dall'uscita dell'amplificatore che dall'uscita del generatore, sulle due griglie, e li mescola fornendo infine un'uscita di catodo comune ai due triodi. All'uscita dell'amplificatore è collegato un carico costituito dalla resistenza

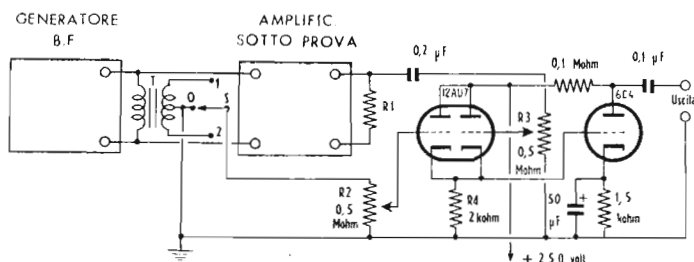



Fig. 17 - Circuito elettrico di un distorsimetro basato sul metodo dello spostamento di fase. Il commutatore S consente di invertire la fase del segnale proveniente direttamente dal generatore. I due potenziometri, R2 ed R3 permettono di regolare l'ampiezza dei due segnali, al fine di ottenere in uscita due tensioni eguali e sfasate di 180°, nei confronti della sola fondamentale.

*R*1 non induttiva, che ha un valore in ohm pari all'impedenza di uscita dell'amplificatore, e può dissipare una potenza pari ad almeno il doppio della normale potenza di uscita dell'amplificatore.

Il livello del segnale proveniente dall'uscita del generatore può essere variato a mezzo del potenziometro *R*2, mentre il livello del segnale uscente dall'amplificatore è regolabile mediante *R*3. Questi due potenziometri vanno regolati in modo che i due segnali presenti sulle due griglie della 12AU7 abbiano esattamente la medesima ampiezza. Il trasformatore *T*, che può benissimo essere del tipo normalmente usato per il pilotaggio di uno stadio finale in controfase, consente di ottenere due segnali di fase opposta, selezionabili a volontà attraverso il commutatore *S*. La presenza di due segnali, in opposizione di fase, è necessaria per il fatto che esistono amplificatori che apportano al segnale uno sfasamento di 180° ed altri che non apportano sfasamento alcuno. Ciò, si intende, tenendo conto del numero degli stadi e non dello sfasamento parassita introdotto dalle fonti di distorsione di fase.

Il segnale che esce dalla 12AU7, prelevato sul catodo, viene applicato alla griglia del triodo 6C4, che svolge la funzione di amplificatore di distorsione. Quando lo amplificatore in esame non distorce, all'uscita della 12AU7 non si ha alcun segnale poichè i segnali presenti nelle due sezioni, eguali ma opposti in fase, si annullano. Quando invece il segnale d'uscita è diverso da quello d'entrata, compare, al catodo, un segnale indicante la differenza tra i due, e quindi la quantità di distorsione. L'uscita della 6C4 viene prelevata sulla placca ed il segnale, tramite un condensatore da 0,1 µF, viene inviato all'uscita del dispositivo, connessa all'entrata verticale di un oscillografo e ad un voltmetro a valvola (disposto in posizione volt C.A.).

Durante queste misure, è opportuno regolare il potenziometro del generatore e quello dell'amplificatore per varie potenze successive, da un minimo al massimo che l'amplificatore è in grado di fornire, ed effettuare, a ciascuna potenza, una misura di distorsione. In tal modo ci si rende conto della risposta dell'amplificatore a tutte le sue potenze d'uscita. E' altresì opportuno eseguire le prove anche con diverse frequenze, per vedere quale influenza abbia la frequenza sulla percentuale di distorsione.

La procedura da noi indicata, per la misura della distorsione col metodo dello spostamento di fase, è in grado di dare risultati soddisfacenti nella maggior parte dei casi. Quando, tuttavia, l'amplificatore introduce, tra il segnale d'entrata e quello d'uscita, uno sfasamento che non sia nè di 0° nè di 180°, è opportuno inserire un semplice circuito di sfasamento *RC*, che consenta di ristabilire la differenza di fase voluta, tra i segnali presenti sulle due griglie della 12AU7.

Vediamo come venga effettuata, in pratica, la misura:

1) Regolare i potenziometri del generatore e dello amplificatore per la massima potenza.

2) Connettere i terminali d'uscita del dispositivo di figura 17, all'entrata di un voltmetro a valvola o di un oscillografo, e regolare *R*2 ed *R*3 per lettura nulla o minima. L'interruttore *S* sia in posizione 1.

3) Se coll'interruttore in posizione 1, non si ha lettura nulla, commutare su 2, e ripetere la regolazione di *R*2 ed *R*3. Scegliere la posizione di *S* che determina la lettura minore. Notare questo valore come *E*1.

4) Togliere, dalla griglia del primo triodo, il segnale proveniente dall'uscita del generatore (portando l'interruttore in posizione 0). Leggere sullo strumento di uscita, la tensione presente alla placca della 6C4; tale tensione, mancando ora il segnale d'entrata in opposizione di fase, sarà proporzionale al solo segnale d'uscita dell'amplificatore. Indichiamo con *E*2 questa tensione.

5) Si può ora procedere al calcolo della percentuale di distorsione mediante la formula:

$$D\,(\%) = 100 \times (E_1 : E_2)$$

$D\,(\%)$ = percent. distorsione; $E1$ ed $E2$ = tensioni lette.

L'oscillografo offre il vantaggio di dare anche la forma d'onda del segnale di distorsione dalla quale si può capire la causa determinante. Il voltmetro a valvola — per contro — consente misure di tensione più precise, ed è più adatto per il calcolo vero e proprio della percentuale di distorsione.

Il circuito di figura 17 è di facile realizzazione pratica, e può essere costruito su di un telaio comprendente anche una sezione di alimentazione. In tal modo esso diviene un vero e proprio **distorsimetro**.

Col metodo dello spostamento di fase si può anche misurare la distorsione prodotta sul segnale da un solo stadio, od anche esaminare il comportamento, di singoli componenti (trasformatori, ecc.).

DOMANDE sulle LEZIONI 112ª e 113ª

N. 1 —
Cosa si intende, in acustica, per livello di soglia? A quanto corrisponde in dB e in $\mu W/cm^2$?
N. 2 —
Quale differenza sussiste tra il decibel ed il phon?
N. 3 —
A cosa serve il fonometro?
N. 4 —
Cosa si intende per riflessione di un suono?
N. 5 —
In quali casi un'onda sonora viene rifratta?
N. 6 —
Quale è l'intervallo di tempo minimo, che deve sussistere tra due suoni, affinchè l'orecchio umano possa distinguerli?
N. 7 —
Cosa si intende per tempo di riverberazione?
N. 8 —
Quale è la caratteristica dei materiali assorbenti nei confronti delle onde sonore?
N. 9 —
Quali sono gli strumenti indispensabili per la messa a punto di amplificatori di Bassa Frequenza?
N. 10 —
In quale modo è possibile verificare il grado di efficienza di uno stadio amplificatore in Bassa Frequenza?
N. 11 —
Come è possibile stabilire la posizione di un trasformatore d'ingresso?
N. 12 —
Come vengono effettuati il controllo e la ricerca della causa del ronzio che si produce internamente allo amplificatore?
N. 13 —
Come viene controllato il ronzio dovuto a dispersione tra catodo e filamento di una valvola?
N. 14 —
Come è possibile, mediante l'oscillografo a raggi catodici, controllare i condensatori di fuga e quelli di accoppiamento?
N. 15 —
Nella determinazione della banda passante di un amplificatore, in corrispondenza delle note più acute, quale deve essere la frequenza dell'onda quadra introdotta, affinchè la forma d'onda di uscita sia ancora regolare?
N. 16 —
In quale modo è possibile, in un amplificatore di Bassa Frequenza, migliorare il responso di uno stadio alle frequenze elevate?
N. 17 —
In quale modo è possibile determinare l'ammontare della distorsione armonica di uno stadio amplificatore?
N. 18 —
Come è possibile tracciare la curva generale di responso, illustrante anche il funzionamento dei controlli di tono?

RISPOSTE alle DOMANDE di Pag. 881

N. 1 — Si ha la distorsione quando la forma d'onda del segnale d'uscita è diversa da quella d'entrata. La distorsione può essere di frequenza, di fase, d'ampiezza e di intermodulazione.
N. 2 — La curva di risposta indica i livelli del segnale d'uscita, in funzione della frequenza del segnale, a parità di tensione presente all'ingresso. Nei tratti in cui la curva di risposta non è lineare si ha la distorsione di frequenza.
N. 3 — Quando l'amplificatore apporta diversi spostamenti di fase relativi ai segnali di diverse frequenze.
N. 4 — Si determina distorsione di ampiezza. Per evitarla, è opportuno non sovraccaricare alcuno stadio, onde l'ampiezza del segnale d'ingresso non superi i limiti di linearità della caratteristica della valvola.
N. 5 — No, poichè per ottenere distorsione di intermodulazione devono essere presenti almeno due componenti sinusoidali a frequenza diversa.
N. 6 — La reazione consiste nella retrocessione, alla entrata dell'amplificatore, di una parte del segnale presente alla sua uscita. Essa può essere positiva, se il segnale retrocesso è in fase con quello già presente, o negativa, se è sfasato di 180°.
N. 7 — La reazione di tensione, che si ottiene quando l'ampiezza del segnale retrocesso è proporzionale alla tensione d'uscita, e la reazione di corrente, che si determina quando detta ampiezza è invece proporzionale alla corrente di uscita.
N. 8 — La controreazione di tensione diminuisce la resistenza d'uscita e quella di corrente la aumenta.
N. 9 — Una diminuzione notevole nella tensione di uscita dell'amplificatore stesso.
N. 10 — Maggiore stabilità, indipendentemente dalla tensione anodica, maggiore estensione della banda passante e, principalmente, forte diminuzione della distorsione.
N. 11 — Oscillazioni parassite, rumore e ronzio.
N. 12 — Quelle ad elevata frequenza acustica. La causa è quasi sempre una reazione positiva che può essere determinata da inversione dei collegamenti di controreazione, da accoppiamenti induttivi, da reazioni originantisi nel circuito di livellamento.
N. 13 — Microfonicità, eliminabile con zoccoli portavalvole fissati elasticamente; rumore termico, eliminabile con resistenze ad alta stabilità; fruscio, eliminabile mediante l'impiego di valvole appositamente studiate.
N. 14 — Accoppiamenti tra circuiti percorsi da tensioni alternate provenienti dalla rete. Occorre innanzitutto evitare la vicinanza tra i circuiti percorsi da tali tensioni, e quelli d'ingresso dei primi stadi. Particolare attenzione deve essere dedicata per avere un perfetto livellamento dell'anodica.
N. 15 — Il trasformatore di alimentazione e l'impedenza di filtro devono essere paralleli tra loro, e perpendicolari al trasformatore di uscita. Il trasformatore d'entrata, sotto al telaio, deve essere perpendicolare ad entrambi i precedenti, sulla terza dimensione.

L'ADATTAMENTO degli ALTOPARLANTI agli AMPLIFICATORI

Il segnale elettrico presente all'uscita degli amplificatori di B.F. viene trasformato in onde sonore per mezzo di altoparlanti, o dispositivi trasduttori equivalenti. In questa lezione ci occuperemo delle modalità secondo le quali l'altoparlante, o gli altoparlanti, devono essere collegati all'uscita dell'amplificatore di potenza, per ottenere i migliori risultati.

Nel caso si voglia utilizzare un solo altoparlante, non sorge alcun problema di adattamento elettrico particolarmente grave. E' infatti sufficiente che l'impedenza della bobina mobile dell'altoparlante sia eguale all'impedenza del secondario del trasformatore d'uscita, cui essa va collegata. Quasi sempre i trasformatori d'uscita sono provvisti di secondari a più prese, onde permettere l'adattamento ad altoparlanti di diverse impedenze.

Un altro fattore di cui è indispensabile tener conto, è la potenza dell'altoparlante: sottoponendo un altoparlante ad una potenza di lavoro superiore a quella per la quale è stato progettato, esso in breve tempo ne risulta avariato e, pur continuando spesso a funzionare, apporta una notevole distorsione.

Quanto abbiamo detto per un solo altoparlante circa l'impedenza e la potenza, vale anche nel caso in cui gli altoparlanti siano due o più, purchè si tenga conto della impedenza complessiva del circuito che comprende tutti gli altoparlanti, detto comunemente « linea di altoparlanti ». Tale impedenza complessiva è quella dell'intero circuito, visto dai due terminali di ingresso, ossia dai terminali che devono essere collegati al secondario del trasformatore d'uscita. Inoltre, gli altoparlanti dovranno essere connessi in modo che ad ognuno competa una potenza di carico adeguata alle relative caratteristiche.

Trattandosi di linee di altoparlanti tutti eguali tra di loro, la risoluzione del problema è, come vedremo, relativamente semplice. Se invece, gli altoparlanti che si vogliono collegare ad un unico amplificatore, sono diversi uno dall'altro, sia come potenza di lavoro che come impedenza, non sempre è possibile trovare una soluzione perfetta, dovendosi spesso ricorrere ad approssimazioni, specie nella distribuzione dei carichi ai singoli elementi.

Le linee di altoparlanti si possono suddividere in due categorie fondamentali: linee a **bassa impedenza** e linee a **media impedenza**. Le linee a bassa impedenza sono ottenute collegando tra di loro gli altoparlanti, direttamente sulla bobina mobile; i terminali della linea vanno connessi al secondario del trasformatore di uscita. Nelle linee a media impedenza, invece, le bobine mobili non sono connesse direttamente tra di loro nè direttamente al secondario del trasformatore d'uscita. Ciò perchè *ogni altoparlante è dotato di un proprio trasformatore d'entrata* ed è l'insieme dei primari dei trasformatori d'entrata, opportunamente connessi, che costituisce la linea a media impedenza.

Le linee di bassa impedenza sono, in genere, dell'ordine di pochi ohm. In tali linee, infatti, la riduzione di impedenza necessaria tra il circuito di carico della valvola finale e le bobine mobili degli altoparlanti, viene ottenuta esclusivamente mediante il trasformatore d'uscita. Ciò significa che sul secondario di tale trasformatore si ha già un'impedenza adeguata alle bobine mobili.

Nel caso delle linee a media impedenza, la riduzione viene invece ottenuta con due passaggi, uno dei quali si effettua nel trasformatore d'uscita dell'amplificatore, e l'altro nel trasformatore d'entrata di ogni altoparlante. L'impedenza di carico della valvola finale viene infatti abbassata, nel trasformatore d'uscita, fino a raggiungere un valore compreso fra 50 e 500 ohm. Successivamente, ogni trasformatore d'entrata dell'altoparlante provvede ad adattare quest'ultima impedenza (media impedenza) alla bobina mobile dell'altoparlante stesso.

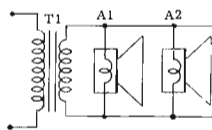



Fig. 1-A - Collegamento con linea a bassa impedenza.

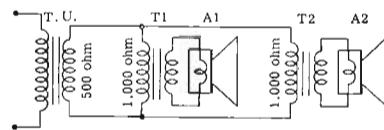



Fig. 1-B - Collegamento di altoparlanti con linea a media impedenza. Ciascuno deve avere un trasformatore adatto.

Negli amplificatori per normali locali di soggiorno, o comunque tali da non comportare lunghi collegamenti di trasferimento verso gli altoparlanti, si preferiscono le linee a bassa impedenza. Quando, per contro, occorre distribuire la potenza fornita dall'amplificatore ad altoparlanti anche notevolmente lontani (ciò si verifica — ad esempio — nelle sale cinematografiche), si preferisce adottare le linee a media impedenza. Un esempio di linea a bassa impedenza ed uno a media impedenza sono rappresentati alle **figure 1-A** ed **1-B**.

CALCOLO delle LINEE a BASSA IMPEDENZA

Come già detto, i due elementi fondamentali da tenere in considerazione nella progettazione delle linee di altoparlanti sono l'impedenza e la potenza di lavoro degli altoparlanti.

Altoparlanti a caratteristiche eguali

Se gli altoparlanti da collegare, sono tutti eguali tra loro per quanto riguarda le suddette caratteristiche, il calcolo dei circuiti è abbastanza semplice: si possono considerare — a questo proposito — tre casi: disposizione in parallelo, disposizione in serie e disposizione in serie - parallelo.

1) *Altoparlanti in parallelo.* Essendo le impedenze di tutti gli altoparlanti eguali, l'impedenza totale si

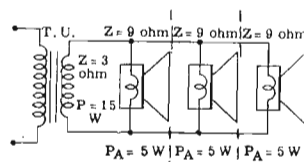



Fig. 2 - Altoparlanti di eguali caratteristiche in parallelo su linea a bassa impedenza.

calcola semplicemente dividendo quella di un altoparlante per il numero degli altoparlanti. La potenza massima si ottiene invece moltiplicando la potenza di lavoro P_A di un altoparlante per il numero degli altoparlanti. La disposizione è indicata alla **figura 2**, e valgono le seguenti relazioni:

$$Z = Z_A : N \qquad \text{e} \qquad P = P_A \times N$$

ove Z_A e P_A sono, rispettivamente, l'impedenza e la potenza di lavoro di un solo altoparlante ed N è il numero degli altoparlanti; Z e P sono l'impedenza e la potenza di tutta la linea.

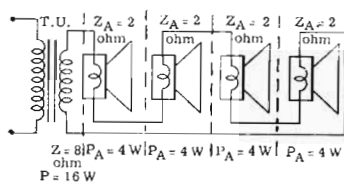



Fig. 3 - Altoparlanti di eguali caratteristiche in serie su linea a bassa impedenza.

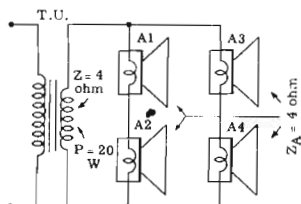



Fig. 4 - Altoparlanti di eguali caratteristiche in collegamento serie-parallelo.

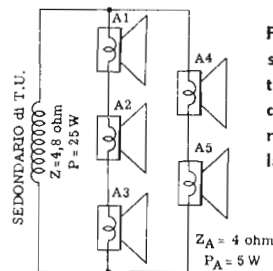



Fig. 5 - Collegamento serie-parallelo di altoparlanti, eguali, che dà luogo ad una errata distribuzione della potenza.

Supponiamo, ad esempio, che i tre altoparlanti della figura 2 abbiano un'impedenza di 9 ohm ed una potenza di lavoro di 5 watt ciascuno. Sarà allora necessario connettere la linea alla presa del trasformatore di uscita corrispondente ad un'impedenza $Z = 9 : 3 = 3$ ohm. La potenza massima applicabile al sistema è: $P = 3 \times 5 = 15$ watt, i quali si distribuiscono uniformemente sui tre altoparlanti, in ragione di 5 watt per ciascuno. Le linee parallele sono da preferirsi nel caso in cui gli altoparlanti abbiano un'impedenza Z_A abbastanza elevata, in modo che l'impedenza totale Z della linea, sia ancora sufficientemente alta (almeno di 1 ohm).

2) *Altoparlanti in serie.* Questa disposizione è illustrata alla **figura 3**. L'impedenza complessiva della linea, Z, è in questo caso eguale a:

$$Z = N \times Z_A$$

La potenza di lavoro permane, come nel caso precedente:

$$P = N \times P_A.$$

Supponiamo, ad esempio, di connettere tra loro in serie quattro altoparlanti la cui impedenza Z_A sia di 2 ohm, e la potenza di lavoro di 4 watt. In tal caso, l'impedenza della linea risulta di $4 \times 2 = 8$ ohm e la potenza applicabile di $4 \times 4 = 16$ watt. Anche questa volta la potenza complessiva si distribuisce in pari misura nei singoli altoparlanti, in ragione di 4 watt ciascuno.

Come è facile intuire, l'utilità del collegamento in serie degli altoparlanti si rivela soprattutto nel caso in cui le impedenze delle bobine mobili siano piuttosto basse, o comunque tali da non determinare, complessivamente, un'impedenza superiore a quella massima solitamente ottenibile sulle prese del secondario del trasformatore d'uscita.

3) *Altoparlanti in serie - parallelo.* Si ricorre spesso a questa disposizione, poichè essa consente di ottenere valori di impedenza di tipo intermedio, come vedremo chiaramente in un successivo esempio. Consideriamo il caso tipico di linea in serie - parallelo rappresentato alla **figura 4**. L'impedenza di questa linea si può calcolare facilmente tenendo presente che gli altoparlanti *A*1 ed *A*2 sono in serie tra di loro, e quindi dànno luogo ad una impedenza di $2 \times Z_A$, ossia di 8 ohm; ciò vale pure per gli altoparlanti *A*3 ed *A*4. Questi due gruppi sono in parallelo tra loro e si ottiene quindi, come impedenza risultante, complessiva, $8 : 2 = 4$ ohm. Tale impedenza è pari a quella della bobina mobile di un solo altoparlante.

Disponendo gli stessi quattro altoparlanti in serie od in parallelo, si ottengono impedenze di 16 ohm e di 1 ohm, rispettivamente. Tali impedenze sono poco adatte per una linea di altoparlanti nel senso che la prima è troppo alta e la seconda è troppo bassa. Per quanto riguarda la potenza, essa è proporzionale sia alla tensione ai capi di ciascun altoparlante, sia all'impedenza delle bobine mobili. Dato che gli altoparlanti sono tutti eguali tra di loro, la potenza si distribuisce in modo uniforme, e quindi, se si applicano alla linea 20 watt, questi si distribuiscono in modo eguale tra i quattro altoparlanti, distribuendosi in ciascuno di essi in ragione di 5 watt.

Consideriamo ora la linea di altoparlanti della **figura 5**. Gli altoparlanti *A*1, *A*2 ed *A*3 sono in serie tra di loro, e determinano quindi un'impedenza di 12 ohm. Per la stessa ragione l'impedenza determinata dagli altoparlanti *A*4 ed *A*5 è di 8 ohm. Queste due impedenze sono in parallelo tra di loro, e quindi si ottiene, complessivamente, il seguente risultato:

$$Z = \frac{12 \times 8}{12 + 8} = 4{,}8 \text{ ohm}$$

Supponiamo di applicare la linea considerata alla presa a 4,8 ohm sul secondario di un trasformatore di uscita capace di fornire al sistema una potenza di 25 watt. Poichè la potenza di lavoro di ogni altoparlante è di 5 watt, si potrebbe pensare che i 25 watt si distribuiscano in modo equivalente, e quindi che il circuito sia corretto. Questo invece, come vedremo, non accade. La tensione di segnale presente ai capi del primo gruppo di altoparlanti (*A*1, *A*2 ed *A*3) è eguale a quella presente ai capi del secondo gruppo (*A*4 ed *A*5); ciò perchè i suddetti gruppi sono disposti in parallelo.

Se consideriamo che il primo gruppo è costituito da tre altoparlanti, ed il secondo da due, è facile comprendere che la tensione ai capi degli altoparlanti *A*1, *A*2 ed *A*3 è inferiore a quella ai capi degli altoparlanti *A*4 ed *A*5, e più precisamente pari ai ⅔ di essa. Dato che le impedenze di tutti gli altoparlanti sono eguali, ne risulta che la potenza di ogni altoparlante del primo gruppo è pari ai ⅔ di quella degli altoparlanti del secondo gruppo. Pertanto, la distribuzione di potenza che si ottiene non è uniforme, e gli altoparlanti *A*4 ed *A*5, essendo sovraccaricati, potrebbero danneggiarsi.

Altoparlanti a caratteristiche diverse

Supponiamo che gli altoparlanti della linea siano diversi tra loro, sia come impedenza che come potenza di lavoro, e riprendiamo in considerazione i tre casi fondamentali del paragrafo precedente.

1) *Disposizione in parallelo.* L'impedenza totale di una linea di altoparlanti diversi tra loro, disposti in parallelo, si calcola mediante la formula delle resistenze in parallelo:

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{Z1} + \frac{1}{Z2} + \frac{1}{Z3} + \ldots$$

Per quanto riguarda la potenza, essa è data — come è noto — dall'espressione:

$$P = \frac{E^2}{Z}$$

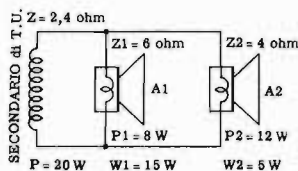



Fig. 6-A - Esempio di collegamento di altoparlanti, a caratteristiche diverse, che dà luogo ad errata distribuzione della potenza.

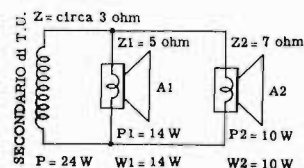



Fig. 6-B - L'opportuna scelta delle impedenze dei diversi altoparlanti permette, come in questo caso, una giusta distribuzione della potenza.

valida per ogni altoparlante. In essa P è la potenza, E è la tensione ai capi dell'altoparlante e Z è l'impedenza di quest'ultimo. Dato che E, e quindi E^2, è eguale per tutti gli altoparlanti, e dato che essi sono disposti in parallelo, ne risulta che la potenza che si distribuisce su ogni singolo altoparlante è inversamente proporzionale alla sua impedenza, e non dipende da altri fattori.

Da quanto detto, risulta che non tutte le disposizioni in parallelo sono possibili. Infatti occorre, per poter disporre più altoparlanti in parallelo, che la potenza di lavoro per cui essi sono stati costruiti sia inversamente proporzionale alle relative impedenze. Un esempio di circuito è indicato alla **figura 6-A**. Gli altoparlanti collegati in parallelo hanno le seguenti caratteristiche: $A1$, da 15 watt, è dotato di impedenza $Z1 = 6$ ohm ed $A2$, da 5 watt, è dotato di impedenza $Z2 = 4$ ohm. La presa sul secondario del trasformatore d'uscita, di impedenza adatta, si calcola nel modo seguente:

$$Z = \frac{4 \times 6}{4 + 6} = 2{,}4 \text{ ohm}$$

La potenza che i due altoparlanti, complessivamente, sono in grado di trasformare in energia acustica, ammonta a 20 watt. Vediamo adesso se, applicando 20 watt all'entrata della linea, essi si distribuiscono in modo adeguato, ossia 15 watt su $A1$ e 5 watt su $A2$. Come già detto, le potenze si distribuiscono, sui singoli altoparlanti, in modo inversamente proporzionale alle relative impedenze. Si ha quindi:

$$\frac{P1}{P2} = \frac{Z2}{Z1}$$

E sostituendo i valori $Z1 = 6$ e $Z2 = 4$, si ottiene:

$$\frac{P1}{P2} = \frac{2}{3}.$$

Per calcolare i valori effettivi di $P1$ e $P2$, occorre considerare anche l'equazione che esprime la somma delle due potenze:

$$P1 + P2 = 20 \text{ watt}$$

Da questa equazione si deduce che $P2 = 20 - P1$, e sostituendo questo valore di $P2$ nell'espressione precedente, si ottiene:

$$\frac{P1}{20 - P1} = \frac{2}{3} \text{ ossia } 3P1 = 40 - 2P1$$

Questa equazione si risolve facilmente, e ci dà la potenza relativa all'altoparlante $A1$:

$$3P1 + 2P1 = 40;\ 5P1 = 40;\ P1 = 40/5 = 8 \text{ watt}$$

La potenza relativa all'altoparlante $A2$ è:

$$P2 = 20 - P1 = 20 - 8 = 12 \text{ watt.}$$

Come si vede quindi, le potenze si distribuiscono in modo del tutto diverso da quello richiesto, perchè l'altoparlante da 5 watt risulta, in realtà, caricato da ben 12 watt, mentre quello da 15 watt è sottoposto a soli 8 watt di potenza. Supponiamo ora che si verifichi la condizione secondo cui le potenze di lavoro degli altoparlanti siano inversamente proporzionali alle loro impedenze, ossia:

$$\frac{W1}{W2} = \frac{Z2}{Z1}$$

Questa condizione risulta, ad esempio, scegliendo l'altoparlante $A1$ da 14 watt e 5 ohm ed $A2$ da 10 watt, 7 ohm (figura 6-**B**). Si ha infatti:

$$\frac{14}{10} = \frac{7}{5}$$

Applichiamo ora i terminali di questa linea ad un'uscita di circa 3 ohm, che fornisca una potenza di 24 watt, e calcoliamo come si distribuisce tale potenza. Le equazioni di cui si deve tener conto sono, questa volta le seguenti:

$$\frac{P1}{P2} = \frac{Z2}{Z1} = \frac{7}{5} \quad \text{e} \quad P1 + P2 = 24$$

Mediante il procedimento illustrato nel corso del precedente esempio, si trova, con semplici calcoli, che questa volta, effettivamente, le potenze $P1$ e $P2$ applicate corrispondono alle potenze di lavoro $W1$ e $W2$. Si può infatti verificare che $P1 = 14$ watt e $P2 = 10$ watt.

2) *Disposizione in serie*. L'impedenza totale di una linea di altoparlanti, diversi tra loro e disposti in serie, si calcola facilmente sommando tra loro tutte le impedenze. Si ha quindi:

$$Z = Z1 + Z2 + Z3 + \ldots$$

La potenza si distribuisce, nei singoli altoparlanti, secondo l'espressione:

$$P = \frac{E^2}{Z}$$

ove P è la potenza applicata all'altoparlante, Z la sua impedenza, ed E la tensione presente ai suoi capi. Pur essendo questa formula eguale a quella del caso precedente, la sua interpretazione è assai diversa. Infatti, questa volta si tratta di una disposizione in serie, e quindi la tensione E non è costante, ma varia da altoparlante ad altoparlante, proporzionalmente all'impedenza Z. Di conseguenza, il numeratore E^2 della frazione precedente, è proporzionale a Z^2, e l'intera espressione che dà la potenza risulta pertanto proporzionale a Z.

Nel caso di più altoparlanti, diversi tra loro, disposti in serie, vale quindi il seguente postulato fondamentale, del tutto opposto a quanto detto circa gli altoparlanti in parallelo: la potenza che compete ad ogni singolo altoparlante è direttamente proporzionale alla impedenza della bobina mobile dell'altoparlante considerato.

Anche in questo caso consideriamo, come esempio, due circuiti, il primo dei quali non corretto. Alla **figura 7-A** sono indicati due altoparlanti disposti in serie,

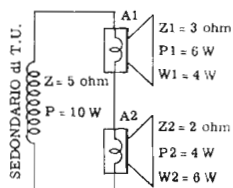



Fig. 7-A - Gli errati valori di impedenza determinano una distribuzione irregolare della potenza.

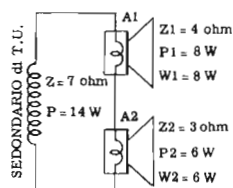



Fig. 7-B Se ogni altoparlante ha la giusta impedenza, la potenza viene distribuita regolarmente nel carico.

*A*1 da 4 watt, 3 ohm ed *A*2 da 6 watt, e 2 ohm. Essi, evidentemente, devono essere applicati ad un secondario che presenti un'impedenza di 5 ohm, e la potenza complessiva necessaria è di 6 + 4 = 10 watt. Vediamo ora se tale potenza si distribuisce esattamente sui due altoparlanti. La potenza che compete ad ogni altoparlante è, come già detto, proporzionale all'impedenza dell'altoparlante medesimo, e quindi vale l'espressione.

$$\frac{P1}{P2} = \frac{Z1}{Z2}$$ ossia nel caso in esame:

$$\frac{P1}{P2} = \frac{3}{2}.$$

A questa si deve aggiungere la solita equazione esprimente la somma delle potenze:

$$P1 + P2 = 10 \text{ watt.}$$

Queste due equazioni, risolte col solito metodo, dànno come risultati *P*1 = 6 watt e *P*2 = 4 watt. Ciò, come si vede, non coincide con la distribuzione esatta, che prevede 4 watt su *A*1 e 6 watt su *A*2.

Un esempio di distribuzione esatta, è illustrato alla figura 7-**B**, nella quale si possono notare due altoparlanti disposti in serie, dei quali *A*1 da 8 watt, 4 ohm ed *A*2 da 6 watt, 3 ohm. In questo caso è verificata la proporzionalità diretta tra potenza ed impedenza:

$$\frac{8}{6} = \frac{4}{3}$$

Lasciamo al lettore la verifica che, applicando la linea di altoparlanti ora considerata all'uscita di un amplificatore da 14 watt, la potenza si distribuisce in modo corrispondente a quanto richiesto da parte degli altoparlanti. Per eseguire tale verifica basta impostare e risolvere le solite due equazioni.

3) *Disposizione in serie-parallelo.* In questo caso non sempre la risoluzione è immediata, come nei casi precedenti. Comunque, l'impedenza complessiva della linea

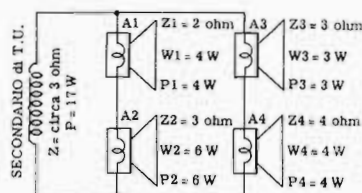



Fig. 8 - Caso di disposizione serie-parallelo di altoparlanti a caratteristiche diverse: la soluzione è un po' più laboriosa delle precedenti, ma comunque semplice.

si calcola considerando le impedenze degli altoparlanti come se fossero semplici resistenze, disposte in un circuito serie-parallelo. Ad esempio, nel caso di cui alla **figura 8**, si sommano dapprima le impedenze dei due rami in serie, e quindi si calcola la risultante di tali impedenze, che sono disposte in parallelo tra di loro.

Il ramo costituito da *A*1 ed *A*2 ha un'impedenza di 2 + 3 = 5 ohm, mentre l'altro ha un'impedenza di 3 + 4 = 7 ohm. L'impedenza complessiva si calcola mediante la formula delle resistenze in parallelo, e risulta pertanto eguale a:

$$\frac{5 \times 7}{5 + 7} = \frac{35}{12}$$ ossia, circa, 3 ohm.

Il calcolo della distribuzione della potenza è meno semplice, e non esiste una regola generale che indichi il procedimento. Occorre, secondo i casi, suddividere la linea in rami in serie ed in parallelo, eseguendo poi ragionamenti del tipo dei precedenti. Un esempio di distribuzione quasi esatta delle potenze chiarirà il procedimento. Consideriamo ancora gli altoparlanti di figura 8, e teniamo conto che le loro potenze sono W1 = 4 watt, W2 = 6 watt, W3 = 3 watt e W4 = 4 watt. La potenza necessaria a pilotare tutti gli altoparlanti ammonta a 4 + 6 + 3 + 4 = 17 watt.

Consideriamo separatamente i due rami costituiti da *A*1 ed *A*2 e da *A*3 ed *A*4. Essi risultano in parallelo tra di loro, e le loro potenze complessive sono quindi inversamente proporzionali alle impedenze complessive, che sono di 5 ohm per il primo ramo e di 17 ohm per il secondo. Per calcolare le effettive potenze complessive che competono ad ogni ramo, basta risolvere le due equazioni:

$$\frac{R1}{R2} = \frac{7}{5} \quad \text{e} \quad R1 + R2 = 17$$

nelle quali *R*1 ed *R*2 rappresentano, rispettivamente, le potenze complessive del primo e del secondo ramo. Eseguendo gli opportuni calcoli si trova che *R*1 è circa eguale a 10 ed *R*2 circa eguale a 7. E' ora facile calcolare come si distribuiscano i 10 watt tra gli altoparlanti *A*1 ed *A*2 ed i 7 watt tra gli altoparlanti *A*3 ed *A*4. Infatti, all'interno di ciascun ramo, i due altoparlanti relativi sono disposti in serie tra di loro, e basta quindi applicare il metodo di calcolo considerato nel caso degli altoparlanti in serie. Per il primo ramo si ha:

$$\frac{P1}{P2} = \frac{2}{3} \quad \text{e} \quad P1 + P2 = R1 = 10 \text{ watt.}$$

Risolvendo queste equazioni si trova *P*1 = 4 watt e *P*2 = 6 watt. Ciò coincide con quanto richiesto dagli altoparlanti. Analogamente, risolvendo le equazioni relative al secondo ramo:

$$\frac{P3}{P4} = \frac{3}{4} \quad \text{e} \quad P3 + P4 = R2 = 7 \text{ watt.}$$

si ottiene che *P*3 è eguale a 3 watt e *P*4 a 4 watt. Anche queste potenze corrispondono a quelle di lavoro degli altoparlanti. Occorre tenere presente, nella risoluzione di simili problemi, che è sempre possibile introdurre piccole approssimazioni — atte a semplificare i calcoli — che non pregiudicano assolutamente il buon esito del risultato finale. Inoltre, è possibile usare altoparlanti la cui potenza di lavoro differisca, entro limiti ristretti, da quella che effettivamente si applica.

CALCOLO delle LINEE a MEDIA IMPEDENZA

Già abbiamo esposto il principio di funzionamento delle linee a media impedenza. Vediamo ora quando sia utile il loro impiego, e per quali ragioni. Allo

scopo, prendiamo in considerazione il semplice circuito della **figura 9**. Abbiamo ivi sintetizzato nella resistenza *R* la resistenza complessiva dei collegamenti facenti parte della linea, e nella impedenza *Z* l'impedenza totale degli altoparlanti, che viene sfruttata per la trasformazione della potenza elettrica applicata, in energia sonora.

Come è facilmente intuibile, occorre che il valore di *R* sia il più possibile ridotto rispetto a quello di *Z*. Infatti la resistenza *R* dei collegamenti deve sempre considerarsi in serie alla linea, e quindi la potenza che essa dissipa, sotto forma di calore, è direttamente proporzionale al suo valore. Un'espressione indicativa rispetto alla percentuale di potenza effettivamente trasformata in energia sonora è la seguente:

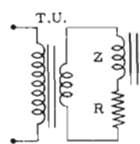



Fig. 9 - Z rappresenta l'impedenza totale ed R la resistenza complessiva della linea di altoparlanti: questi elementi sono necessari al nostro calcolo.

$$100 \times \frac{Z}{R + Z}$$

Infatti, il numeratore è proporzionale alla potenza trasformata, mentre il denominatore è proporzionale alla potenza applicata (data dalla somma di quella trasformata più quella dissipata sotto forma di calore). Essendo *Z* costante, e determinata dal tipo e dalla disposizione degli altoparlanti, il rendimento è massimo quando *R* è molto piccola rispetto a *Z*, come verificheremo con i due esempi che seguono.

Supponiamo che i collegamenti agli altoparlanti siano molto brevi, ed introducano una resistenza *R* in serie, di soli 0.1 ohm, e che l'impedenza di utilizzazione sia di 5 ohm; allora l'espressione del rendimento è:

$$100 \times \frac{5}{0{,}1 + 5} = \text{circa } 98\%.$$

Si ha pertanto un rendimento più che soddisfacente. Se però gli altoparlanti devono essere distribuiti in diverse posizioni in un locale pubblico di grandi dimensioni (cinematografo, sala da ballo e simili) o in una vasta zona all'aperto, i fili di collegamento si allungano notevolmente, e la resistenza sale in proporzione. Consideriamo, ad esempio, una linea la cui resistenza *R* distribuita sia di 10 ohm, rispetto ai 5 ohm dell'impedenza di utilizzazione. Il rendimento scende allora a valori molto bassi:

$$100 \times \frac{5}{10 + 5} = \text{circa } 33\%.$$

Utilizzando invece una linea a media impedenza, ad esempio di 500 ohm, mentre *R* rimane di 10 ohm, *Z* sale, appunto, a 500 ohm, e di conseguenza il rendimento diviene:

$$100 \times \frac{500}{10 + 500} = \text{circa } 98\%$$

ritornando quindi ad un valore ottimo. In generale, una linea di altoparlanti è buona quando offre un rendimento almeno dell'85%.

Per il calcolo dell'impedenza complessiva e della distribuzione di potenza, si segue lo stesso procedimento esposto nel caso del collegamento a bassa impedenza. In questo caso si ha però un altro elemento variabile: il trasformatore d'entrata di ogni singolo altoparlante. Diviene pertanto possibile, pur di calcolare opportunamente il rapporto di spire di tali trasformatori, ottenere distribuzioni di potenza adeguate alle potenze di lavoro degli altoparlanti, anche in casi in cui ciò non è possibile con linee a bassa impedenza. Non entreremo in dettagli per quanto riguarda il calcolo vero e proprio delle linee di media impedenza, ma ci limiteremo a considerare un esempio particolarmente significativo, illustrato alla **figura 10**.

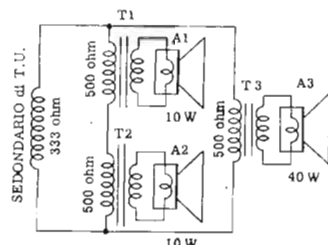



Fig. 10 - Linea di media impedenza con tre altoparlanti dotati di trasformatore con impedenza primaria di 500 ohm: l'impedenza della linea deve essere di 333 ohm.

Si tratta di una linea a media impedenza provvista di tre altoparlanti, di cui *A1* ed *A2* della potenza di 10 watt, ed *A3* della potenza di 40 watt. I trasformatori d'entrata hanno tutti una impedenza primaria di 500 ohm, ed un'impedenza secondaria adatta alla bobina mobile dell'altoparlante relativo. Nel caso delle linee a media impedenza, non ha alcuna importanza l'impedenza della bobina mobile di ogni altoparlante, perchè l'adattamento si ottiene facilmente mediante il singolo trasformatore d'entrata.

L'impedenza della linea si calcola tenendo conto che *A1* ed *A2* sono in serie tra loro, e quindi presentano un'impedenza totale primaria dei trasformatori d'entrata di 1.000 ohm. Tale impedenza risulta in parallelo ai 500 ohm di *T3*, e quindi l'impedenza complessiva è:

$$\frac{1.000 \times 500}{1.000 + 500} = 333 \text{ ohm circa.}$$

La distribuzione delle potenze viene calcolata col solito metodo, tenendo conto questa volta delle impedenze primarie di *T1*, *T2* e *T3*, invece che delle bobine mobili. Si trova che le potenze applicate corrispondono esattamente a quelle di lavoro. Lasciamo il calcolo effettivo come esercizio

Linee ad impedenza costante

Nelle normali linee a media impedenza, si stabilisce prima l'impedenza che si attribuirà ai diversi trasformatori d'entrata, e successivamente si calcola l'impedenza complessiva, e ad essa si adatta il secondario del trasformatore di uscita dell'amplificatore. Le linee ad « impedenza costante », vengono invece progettate in modo che l'impedenza del secondario del trasformatore di uscita, e quindi quella complessiva della linea, sia predeterminata. Da ciò deriva appunto la loro denominazione. L'impedenza che in generale si sceglie è di 500 ohm, ed in funzione di essa vanno calcolati tutti i primari dei trasformatori dei singoli altoparlanti, in modo da presentare, complessivamente, tale impedenza.

Le linee ad impedenza costante presentano lo svantaggio che l'impedenza primaria dei trasformatori d'entrata non può essere scelta in modo da ottenere una particolare distribuzione di potenza, essendo condizionata dall'impedenza complessiva della linea, che è predeterminata.

RADIO e TELEVISIONE

Numero 101
vol. IX - maggio 1961

Rivista mensile diretta da Giulio Borgogno

RADIO e TELEVISIONE

viene inviata in abbonamento e venduta alle Edicole in tutta Italia.

Agli abbonati in caso di cambio indirizzo è richiesto l'invio di Lire 50 con la comunicazione dell'indirizzo nuovo; in ogni caso è sempre molto importante precisare anche il vecchio indirizzo al quale la Rivista veniva spedita.

Per lo scambio di corrispondenza si prega unire il francobollo per la risposta.

PUBBLICITA':

Via dei Pellegrini, 8/4 - Telef. 593.478 - Milano

La Rivista accetta inserzioni pubblicitarie secondo tariffe che vengono inviate a richiesta delle Ditte interessate.

La Direzione, pur essendo disposta a concedere molto spazio alla pubblicità poichè questa interessa sempre gran parte dei lettori, avverte che ogni aumento di inserzioni non andrà mai a danno dello spazio degli articoli di testo perchè ogni incremento di pubblicità porterà ad un aumento del numero di pagine.

La Direzione si riserva la facoltà di rifiutare il testo, le fotografie e i disegni che non ritenesse adeguati all'indirizzo della rivista.

REDAZIONE E DIREZIONE:

Via dei Pellegrini, 8/4 - Telef. 593.478 - Milano

La responsabilità degli scritti firmati spetta ai singoli autori.

Manoscritti, disegni, fotografie non pubblicati non si restituiscono.

STAMPA:

Via dei Pellegrini, 8/6 - Telef. 542.924 - Milano

Tipografia propria: Grafica Tecnico Commerciale.
Iscrizione presso il Tribunale di Milano al N. 3188.

DIFFUSIONE:

Concessionaria per la diffusione alle Edicole in Italia: Diffusione Milanese - Via Soperga, 57 - Milano.

ABBONAMENTI:

Abbonamento a 6 numeri: lire 1600; a 12 numeri: lire 3060 - IGE compresa. Estero: lire 4000 (dollari 6).

I numeri arretrati costano lire 350; possono però essere compresi in conto abbonamento, se disponibili. Il ns./Conto Corr. porta il N. 3/4545 - Milano.

Rivista associata all'U.I.P.R.E. Union International de la Presse Radiotechnique et Electronique.

SOMMARIO

Organo informativo dei commercianti di radio-TV ed apparecchi elettrodomestici - degli importatori e dei tecnici dell'industria del ramo - per la documentazione di categoria e la divulgazione tecnica